

ANTONIO MAURO SARAIVA

Engenheiro Eletricista, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1980.

Engenheiro Agrônomo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz",
Universidade de São Paulo, 1987.

Mestre em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1993.

**UM MODELO DE OBJETOS PARA SISTEMAS
ABERTOS DE INFORMAÇÕES DE CAMPO
PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO -
MOSAICo**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Engenharia

Área de Concentração:
Sistemas Digitais

Orientador:
Prof. Dr. Antonio Marcos de Aguirra Massola

São Paulo
1998

*“Afagar a terra,
conhecer os desejos da terra
cio da terra,
propícia estação
de fecundar o chão”
Chico Buarque*

Dedico este trabalho à Eliana, minha esposa,
e à nossa obra-prima, nosso filho, Lucas.

AGRADECIMENTOS

Ao longo deste trabalho, tive a oportunidade e a necessidade de interagir com diversas pessoas. Gostaria de expressar, aqui, meu reconhecimento a todos aqueles que contribuíram das mais variadas formas, em particular :

- ao Prof. Dr. Antonio Marcos de Aguirra Massola, meu Mestre, orientador, e artífice do estabelecimento da pesquisa em automação agrícola na Escola Politécnica, quando nos idos de 1988 vislumbrou comigo a potencialidade da aplicação dos sistemas digitais à agricultura. Agradeço o apoio, a confiança, a orientação, a amizade. Espero ter feito por merecer tudo isso. Que Deus lhe dê saúde e o mesmo entusiasmo de sempre, nesse seu novo desafio;
- ao Prof. Dr. Carlos Eduardo Cugnasca, "Cug", companheiro de muitas horas, colega há mais de duas décadas, que comigo tenta o esforço descomunal de conciliar o irreconciliável: o idealismo de contribuir com nosso trabalho na vida acadêmica, com a realidade da nossa sociedade e nossa universidade;
- à Profª. Dra. Selma Shin Shimizu Melnikoff, pelas fundamentais discussões sobre orientação a objetos e modelamento de sistemas; pelos solos de Schubert e Brahms junto com a Camerata.
- ao Prof. Dr. Luiz Antonio Balastreire, que como coordenador do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Automação Agrícola, compartilhou de projetos e ideais, aturou meus ímpetos e soube inculcar em mim um pouco de sua muita experiência e prudência; também pelas críticas e sugestões ao trabalho.
- ao Prof. Dr. José Paulo Molin, pelas conversas reais e virtuais sobre agricultura de precisão e sobre nossa universidade, pelas críticas e sugestões ao trabalho;
- ao Prof. Dr. João Batista Camargo Júnior, pelas discussões esclarecedoras sobre os conceitos e modelos de objetos, e pela humana presença e amizade;

- ao Engº, Mestre e doutorando Sérgio Miranda Paz, "Mr. Peace", "Mirandinha", pelo empenho e pelo vestir a camisa do Laboratório de Automação Agrícola (LAA) tão bem em tantos momentos chave, e pelo coleguismo e amizade demonstrados. Também pela revisão criteriosa e atenta do texto;
- ao Engº Bruno Abrantes Basseto, pesquisador do LAA, que auxiliou no início deste trabalho de modelamento, discutindo os conceitos de orientação a objetos;
- a todos os demais (muitos) engenheiros e alunos que passaram pelo LAA ao longo desses anos, dando sua contribuição, compartilhando de um ideal, enfrentando conosco as dificuldades. Muito obrigado a todos, em particular aos atuais pesquisadores Engº Renato Souza da Cunha, Jamerson Santana, e Antonio Marcos Moreiras;
- ao Prof. Dr. Marco Túlio C. Andrade, que assumiu parte das minhas atividades administrativas no PCS para que eu pudesse me dedicar à tese, e pelo incentivo. Gracias, hombre!
- aos professores do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da EPUSP, que me deram apoio ao longo desses anos e que me fizeram "cobranças" positivas, em particular Anna H.R.C. Rillo, Geraldo L. Campos, Edit G.L. Campos, João J. Neto, Paulo Sérgio Cugnasca, Jaime S. Sichman;
- à Mariza Ushijima Leone, mais uma vez pelas figuras; aos demais funcionários da EPUSP-PCS, que direta ou indiretamente contribuíram para o meu trabalho, em particular, à Léia; à Rita da PG,
- ao Lucas e à Eliana, pela enorme paciência, compreensão, e apoio. Não há como expressar-lhes a minha gratidão;
- à minha mãe, Thereza, pelo carinho com que me acolheu de volta no meu "escritório", e pelos lanchinhos, almoços, suquinhos, biscoitos...

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS

RESUMO

“ABSTRACT”

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo	3
1.3 Organização do trabalho	4
2. AGRICULTURA DE PRECISÃO - um estudo do domínio do problema	6
2.1 Introdução	6
2.2 Justificativa da Agricultura de Precisão	11
2.3 A etapa de coleta de dados	16
2.3.1 Tipos de dados	16
2.3.2 Formas de aquisição de dados	20
2.3.3 Periodicidade	25
2.3.4 Posicionamento	26
2.3.5 Comentários finais sobre a coleta de dados	29
2.4 A Etapa do Gerenciamento da Informação	30
2.4.1 Operações prévias ao mapeamento: correção e conversão de dados	32
2.4.2 Mapeamento: a obtenção de mapas a partir das amostras	34
2.4.3 Análise das causas de variabilidade nos mapas	41
2.4.3.1 Geração de mapas de aplicação e o uso de modelos	47
2.4.4 Comentários finais sobre o Gerenciamento	52
2.5 A Etapa da Aplicação Localizada de Insumos	53
2.5.1 Aplicação de fertilizantes	55
2.5.2 Aplicação de pesticidas	57
2.5.3 Semeadura	58
2.5.4 Irrigação	59

Um modelo de objetos para sistemas abertos de informações de campo para
agricultura de precisão- MOSAICO
Antonio Mauro Saraiva

Errata

Página	Parágrafo	texto	texto correto
índice	5	5.2 Arquitetura	5.2 Modelos
4	5	Desta forma...de maneira a acompanhar...	Desta forma... de maneira a acompanhar...
4	4	...em relação as mudanças...	...em relação às mudanças...
5	2	...ligadas a Análise de Domínio...	...ligadas à Análise de Domínio...
5	4	...do trabalhos e asdo trabalho e as ...
8	7	...segundo os autores...	...segundo o autor...
12	1	enfestadas	infestadas
25	2	...energia ma faixa...	...energia na faixa...
40	1	9,1m seria uma valor mínimo, segundo dados das máquinas dos EUA.	9,1m seria um valor mínimo para a largura das células, segundo os autores.
45	3	... e seus os componentes.	... e seus componentes.
51	5	...como o tempo atraso...	...como o tempo de atraso...
65	2	(BALASTREIRE, 1998)	(BALASTREIRE; ELIAS; AMARAL, 1997)
66	3	...solução do problemas...	...solução dos problemas...
84	2	analises estatísticas	análises estatísticas
96		embora possa e vá variar...	embora possam e vão variar
107	5	OCG (1996a)	(OGC, 1996a)
109	2	DEC (1991)	(DEC, 1991)
110	3	OGC (1996a)	(OGC, 1996a)
110	4	NICOL; WILKES; MANOLA (1993)	(NICOL; WILKES; MANOLA, 1993)
119	2	...utilizado em todas os arquivos...	...utilizado em todos os arquivos...
137	4	...apoiar-se no requisitos...	...apoiar-se nos requisitos...
145	1	...utilização do sistemas...	...utilização dos sistemas...
147	7	RUMBAUGH et al. (1997)	(RUMBAUGH et al., 1997)
154	6	(JACOBSON et al. (1991))	(JACOBSON et al., 1993)
155	1	JACOBSON et al. (1991)	JACOBSON et al. (1993)
157	3	...requisitos do sistema...	...requisitos dos sistemas...
157	5	atores-sistema	atores-sistemas
166	6	...das funcionalidade do...	...das funcionalidades do...
227	11	BALASTREIRE, L.A.; ELIAS.... 1998.	BALASTREIRE, L.A.; ELIAS... 1997.
233	5 e 6	OpenGIS Consortium	OpenGIS Consortium (OGC)

2.5.6 Comentários finais sobre a aplicação localizada de insumos	61
2.6 Avaliação	62
2.7 Considerações finais sobre a Agricultura de Precisão	64
3. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES PARA A ETAPA DO GERENCIAMENTO	66
3.1 Introdução	66
3.2 <i>Sistemas de informações para AP: experiências e propostas</i>	67
3.2.1 O Field Information System	67
3.2.2 O PC-MAPS	70
3.2.3 O sistema LORIS	73
3.2.4 Sistemas baseados em pacotes GIS	76
3.2.5 Outras propostas para sistemas de informações para AP	83
3.3 <i>Uma análise crítica das experiências: tendências e necessidades futuras</i>	95
3.4 <i>Considerações finais</i>	100
4. FUNDAMENTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO MOSAICO	102
4.1 Introdução	102
4.2 <i>Sistemas Abertos: conceitos e algumas padronizações de interesse</i>	104
4.2.1 Conceitos sobre sistemas abertos	104
4.2.2 Padronização em geoprocessamento: OpenGIS	112
4.2.3 Padronização no domínio agrícola: ISO e A*E*A	118
4.3 <i>Paradigmas da Engenharia de Software</i>	124
4.3.1 Desenvolvimento de software e método	125
4.3.2 Modelos de ciclo de vida de software	126
4.3.2.1 Modelo em cascata	127
4.3.2.2 Modelo de prototipação	128
4.3.2.3 Modelo incremental	129
4.3.2.4 Modelo espiral	130
4.3.2.5 A ênfase nas fases iniciais	131
4.3.3 Desenvolvimento de software e modelamento	132
4.3.4 Métodos de Desenvolvimento de Software	134
4.3.4.1 Métodos baseados em decomposição funcional e de dados	135
4.3.4.2 Métodos orientados a objetos	136
4.3.4.3 O Método OMT	139
4.3.4.4 O Método OOSE	144

4.4	<i>A análise de domínio e a especificação de meta-sistemas</i>	148
4.5	<i>Considerações finais</i>	152
5.	UM MÉTODO COMBINADO DE MODELAMENTO PARA O MOSAICO	154
5.1	<i>Introdução</i>	154
5.2	<i>Arquitetura</i>	155
5.3	<i>Método</i>	156
5.4	<i>Considerações finais</i>	158
6.	MOSAICO	160
6.1	<i>Introdução</i>	160
6.2	<i>Fase de Pré-Análise</i>	160
6.2.1	Enunciado do problema	160
6.2.2	Modelo de Requisitos	166
6.2.2.1	Modelo de casos de uso	167
6.2.2.2	Descrição dos casos de uso	167
a)	Caso de uso: Inserir dados de campo	168
	Registro de novo proprietário	168
	Registro de nova propriedade agrícola	168
	Registro de novo talhão	168
	Leitura de dados amostrados a partir de dispositivos externos	170
	Entrada manual de dados amostrados	171
b)	Caso de uso: Configurar o sistema	172
	Configuração de regras de manejo	172
	Configuração da base de dados de insumos e equipamentos	173
	Configuração de receitas de tarefas	174
	Configuração de atalhos para automação de tarefas	175
	Registro de novo operador	175
c)	Caso de uso: Gerar mapas	175
	Correção de arquivos de dados amostrados	176
	Criação de camadas de dados primárias	177
	Criação de camadas de dados básicas	177
	Edição manual de camadas de dados	178
	Criação de camadas de dados secundárias	178
	Realização de simulações de cenários	179
	Geração de mapas de aplicação.	180
	Geração de arquivos de saída para controladores de aplicação	180
	Impressão de mapa	181
6.3	<i>Fase de Análise</i>	181

6.3.1 Modelo de Análise	181
6.3.1.1 Modelo de Objetos	181
6.3.1.2 Descrição das classes	187
6.3.1.3 Modelo de Subsistemas	195
6.3.1.4 Descrição dos subsistemas	203
7. CONCLUSÕES	205
7.1 <i>Discussão dos resultados</i>	205
7.2 <i>Perspectivas futuras</i>	211
7.3 <i>Contribuições</i>	212
ANEXO - DESCRIÇÃO DE ATRIBUTOS E OPERAÇÕES DE CLASSES	214
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	227

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1- As etapas básicas da agricultura de precisão (adaptado de UNIVERSITY OF MISSOURI /1995/)</i>	9
<i>Figura 3.1 - Sistema LORIS: componentes e interligações. Fonte: SCHRÖDER; HANEKAUS; SCHNUG (1997).</i>	75
<i>Figura 3.2 - Diagrama do sistema BMPCP. Fonte: HAN; EVANS (1994).</i>	79
<i>Figura 3.3 - Fluxo de dados entre o GIS e o modelo de simulação no sistema integrado. Fonte: HAN et al. (1995).</i>	81
<i>Figura 3.4 - Interação entre as partes do sistema de gerenciamento das informações (MIS) e o usuário. Fonte: LARSCHEID; BLACKMORE (1996).</i>	84
<i>Figura 3.5 - Sistema integrado, segundo SKOTNIKOV; ROBERT (1996) .</i>	87
<i>Figura 3.6 - Sistema de controle espacialmente variável, segundo SCHUELLER (1992).</i>	91
<i>Figura 4.1 - OGIS: da especificação abstrata aos projetos piloto para cada DCP. Fonte: OGC (1996a).</i>	116
<i>Figura 4.2 - Interoperabilidade em vários níveis: em aplicações em redes locais, em redes wide-area, e em aplicações desktop. Interfaces OGIS permitirão inclusive o acesso a sistemas legados. Fonte: OGC (1996).</i>	117
<i>Figura 4.3 - Arquitetura de hardware e software proposta pela A*E*A. Fonte: DROLLINGER; McCAULEY (1997).</i>	123
<i>Figura 4.4 - Modelo de ciclo de vida de software em cascata ou clássico. Fonte: PRESSMAN (1995).</i>	127
<i>Figura 4.5 Modelo Espiral de ciclo de vida de software. Fonte: PRESSMAN (1995).</i>	131
<i>Figura 4.6 - Impacto de mudanças no software nos custos de desenvolvimento. Fonte: PRESSMAN (1995).</i>	132
<i>Figura 4.7 - Objetos do mundo real são diretamente mapeados em objetos do sistema. Baseado em JACOBSON et al. (1993).</i>	138

<i>Figura 4.8 - Notação básica do modelo de objetos no método OMT. Fonte: RUMBAUGH et al. (1997).</i>	140
<i>Figura 4.9 - Notação de subsistemas no método OMT. Fonte: RUMBAUGH (1996).</i>	143
<i>Figura 4.10 - Notação básica do Modelo de casos de uso. Fonte: JACOBSON et al. (1993).</i>	146
<i>Figura 4.11 - As entradas, saídas e agentes que participam do processo de análise de domínio, segundo ARANGO; PRIETO-DIAZ (1991b).</i>	151
<i>Figura 5.1 - Notação adotada para o Modelo de Casos de Uso. Adaptada de JACOBSON et al. (1993)</i>	155
<i>Figura 6.1 - Modelo de Casos de Uso do MOSAICO</i>	167
<i>Figura 6.2 - Diagrama de Classes para o caso de uso Inserir dados de campo</i>	183
<i>Figura 6.3- Diagrama de Classes para o caso de uso Gerar mapas</i>	184
<i>Figura 6.4 - Diagrama de Classes para o caso de uso Configurar o sistema (parte a)</i>	185
<i>Figura 6.5 - Diagrama de Classes para o caso de uso Configurar o sistema (parte b)</i>	186
<i>Figura 6.6 - Visão abstrata dos subsistemas e suas interligações</i>	197
<i>Figura 6.7 - Visão detalhada do Subsistema de Informações Geográficas</i>	198
<i>Figura 6.8 - Visão detalhada do Subsistema de Dados de Campo</i>	199
<i>Figura 6.9 - Visão detalhada do Subsistema Especialista</i>	200
<i>Figura 6.10- Visão detalhada do Subsistema de Base de Dados Agrícola</i>	201
<i>Figura 6.11- Visão detalhada do Subsistema Assistente de Tarefas</i>	202
<i>Figura 6.12- Visão detalhada do Subsistema de Modelos de Simulação</i>	203

LISTA DE ABREVIATURAS

ADED - agricultural data element dictionary

ADIS - agricultural data interchange syntax

AEA (A*E*A) - Agricultural Electronics Association

AP - agricultura de precisão

CCITT - Committée Consultatif International de Telegraphie e Telefonie

CORBA - common object request broker architecture

DCP - distributed computing platform

DEC - Digital Equipment Corp.

DEM - digital elevation model

DGPS - differential GPS

GIS - geographical information system

GPS - Global Positioning System

IPC - inter-process communication

ISO - International Organization for Standardization

ITU - International Telecommunication Union

MOSAICo - modelo de objetos de sistemas abertos de informações de campo

OGC - Open GIS Consortium

OGIS - Open geodata interoperability specification

OLE/COM - Object linking and embedding/common object model

OMT - Object modeling technique

OOSE - Object-oriented software engineering

PC - personal computer

SAD - sistema de apoio a decisão

SDTS - Spatial data transfer standard

SI - sistema de informações

TI - tecnologia da informação

UTM - Universal Transverse Mercator

RESUMO

A Agricultura de Precisão (AP), novo paradigma de gerenciamento agrícola, resente-se da falta de sistemas de informações adequados, que auxiliem nas múltiplas tarefas necessárias para a tomada de decisão sobre as operações de campo.

Para contribuir para a solução desse problema, o trabalho visa propor uma estrutura conceitual que sirva de base para a implementação de sistemas de informações, que atendam às necessidades dessa área.

Inicialmente apresenta-se um estudo do domínio da AP, o qual revela a complexidade do domínio e seu estado atual de grande mutabilidade.

A análise de sistemas de informações propostos na literatura serve como referência para a identificação de características básicas desejáveis dessa classe de sistemas, bem como dos seus problemas atuais, e permite propor uma direção que oriente novos desenvolvimentos. Essa direção é a dos sistemas abertos.

Fundamentado em paradigmas da Engenharia de Software, como métodos orientados a objetos, e em propostas existentes de padronização de software com vistas à obtenção de sistemas abertos, seleciona-se um método de modelamento.

A aplicação do método resulta no MOSAICo, modelo de objetos para sistemas abertos de informações de campo para agricultura de precisão. Trata-se de um meta-modelo de sistema, num nível mais abstrato, portanto.

O modelo permite identificar as principais classes de objetos relevantes para essa classe de sistemas, e os subsistemas que podem servir de base para implementações futuras de sistemas específicos.

“ABSTRACT”

Precision Agriculture is a new paradigm for crop management, for which there is a strong need for information systems that would help to handle the many data processing operations necessary for decision making with respect to field operations.

To help bridge this gap this thesis aims at proposing a conceptual framework, a basis for information systems that may be implemented in the future, and that fill the needs of the application.

Initially it presents a study of the precision agriculture domain, which reveals the domain complexity and its highly changing status.

After analyzing the information systems available in the literature, the desirable characteristics of this class of systems are identified, as well as their problems, which helps proposing a direction for new developments, namely the direction towards open systems.

A modeling method is then chosen, based on Software Engineering paradigms such as object orientation, and based also on initiatives for software standardization that aim at building open systems.

The application of the method results in an object model for open information systems for precision agriculture, MOSAICo, which is a system meta-model, standing in a more abstract level.

The model allows the identification of the most relevant object classes for that class of systems, and also identifies subsystems that might serve as basic components for specific systems to be implemented in the future.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

O processo produtivo agrícola tradicional é bastante complexo, e envolve a interação de fatores da planta, do solo, do clima, além de ser influenciado por parâmetros econômicos, sócio-culturais e tecnológicos.

Ferramentas computacionais têm sido utilizadas no apoio ao gerenciamento da propriedade agrícola há vários anos. Todavia, a citada complexidade do processo e, por conseguinte, o grande número de variáveis envolvidas no gerenciamento, têm dificultado a consolidação de sistemas de informações abrangentes e unificados, que reflitam e contenham o amplo conhecimento existente.

Ao contrário, as ferramentas computacionais de apoio existentes tratam, em geral, de aspectos parciais do gerenciamento.

O novo paradigma de gerenciamento agrícola denominado Agricultura de Precisão - AP, pressupõe a aquisição e a manipulação de uma quantidade muito maior de dados para a tomada de decisão do que a agricultura tradicional. Com isso, torna-se imperativo o uso de sistemas computacionais de apoio ao processo decisório, descartando de vez os processos manuais de aquisição, armazenamento e análise, os quais ainda eram viáveis na agricultura tradicional.

Ao mesmo tempo, o maior detalhe com que se analisa a interação dos fatores de produção na AP, expõe a complexidade dessas interações e ressalta a fragilidade das soluções parciais de análise adotadas até o momento. Torna-se necessário, então, dispor de sistemas de informações mais abrangentes, que integrem o maior número possível de fatores, parâmetros e pontos de vista, impondo uma intensa troca de dados entre módulos que tratarão as muitas e diferentes funções.

Desde o ressurgimento da AP na década de 80, diversos sistemas de informação surgiram, em sua maioria tendo como origem os EUA, país onde a AP encontra-se mais desenvolvida, embora também haja referências a sistemas do Reino Unido e da Alemanha.

Todavia, eles, em geral, abordam apenas necessidades específicas dos pesquisadores e produtores, ocupados inicialmente com o entendimento e o tratamento de aspectos particulares das variabilidades espacial e temporal da produção agrícola e seus fatores. Tais sistemas são fechados e não abrangem toda a gama de ferramentas que a AP necessita atualmente, nem têm a capacidade de vir a atender a essa necessidade.

Diversos fatores podem ter contribuído para essa tendência, entre os quais pode-se citar:

- a enorme dimensão e a grande complexidade do sistema, se entendido como um sistema a ser desenvolvido inteiramente por uma única equipe;
- a dificuldade, por muitos anos, para a obtenção de módulos componentes e bibliotecas que pudessem ser integrados, por exemplo de sistemas de informações geográficas - GIS (*geographical information system*) para computadores pessoais - PCs;
- as dificuldades e a falta de suporte para a interligação de pacotes eventualmente existentes;
- a heterogeneidade dos pacotes parciais existentes em termos de plataformas de software, hardware, arquitetura, abertura, origem, linguagem, etc. Por exemplo, modelos de simulação em ambiente Unix, planilhas em ambiente DOS/Windows, sistemas de aquisição de dados em ambiente DOS, sistemas GIS em plataforma Unix;
- a falta, inicialmente, de padrões estabelecidos de interoperabilidade de software, como os atuais OLE (*object linking and embedding*) e CORBA (*common object request broker architecture*), e posteriormente a demora na sua adoção pelos desenvolvedores de software, particularmente aqueles de interesse para AP;
- a falta de um enfoque de sistema na abordagem do problema.

Atualmente, pode-se perceber o aparecimento de um consenso de que os sistemas de informações para AP devem ser mais abrangentes e flexíveis do que os disponíveis até o momento, e que sistemas abertos obtidos a partir da integração de componentes de software, são um caminho bastante promissor para o atendimento das

reais necessidades da AP. Essa postura segue a tendência geral da indústria de software, e pode ser também um reflexo da rápida maturação da AP.

Todavia, o desenvolvimento de um sistema de informações do porte que a AP demanda é tarefa bastante complexa e demorada e, dadas as suas dimensões potenciais, impõe a utilização de métodos adequados da Engenharia de Software.

Esse panorama evidencia a necessidade de se discutir de maneira mais conceitual esses sistemas de informações de campo, de modo a prover uma fundamentação para implementações de sistemas específicos, os quais sejam compatíveis com a evolução tanto da tecnologia da informação como da tecnologia da agricultura de precisão, e suas reais necessidades em cada aplicação. Esse cenário e o desconhecimento da existência de qualquer iniciativa mais aprofundada nesse sentido, foram as motivações para este trabalho.

1.2 Objetivo

Tendo em vista o exposto, o objetivo básico deste trabalho é propor um Modelo de Objetos para Sistemas Abertos de Informações de Campo - MOSAICo, para Agricultura de Precisão.

O propósito do modelo é o de propiciar um entendimento mais claro, abrangente e estável das necessidades da AP em termos de sistemas de informações de apoio ao gerenciamento da propriedade agrícola. Pretende-se que o modelo sirva como paradigma para o detalhamento de sistemas de informações que atendam a necessidades de aplicações específicas dentro do amplo universo que é a AP.

Para atender esse objetivo, o MOSAICo proposto é um modelo abstrato, independente de implementação. É um meta-modelo de sistema, que reflete as características desejáveis para uma classe de sistemas. Não se trata de um modelo de um sistema simplesmente, portanto, mas de uma estrutura conceitual sobre a qual se poderá detalhar os sistemas a serem implementados.

A definição do MOSAICo se apóia num abrangente estudo do domínio da AP e em paradigmas computacionais como a orientação a objetos e os sistemas abertos, os

quais dão suporte às características desejadas para o modelo e para os sistemas que dele poderão ser derivados.

A pesquisa em agricultura de precisão no Brasil apenas se iniciou, e ainda não há dados de campo e experiência prática que possam ser utilizados para validar uma implementação de um sistema. Todavia, o estudo do domínio e proposição de um modelo abstrato neste momento, podem contribuir significativamente para uma mais profunda e adequada compreensão do paradigma da AP, e de antemão possibilitar uma visão crítica das necessidades da área em termos de sistemas de informações de apoio ao gerenciamento.

Este trabalho também se apoiará nas iniciativas de padronização de software em áreas afins, como a dos Sistemas de Informações Geográficas - GIS (*geographical information systems*), e dos dicionários de dados agrícolas, e possibilitará uma melhor compreensão dessas iniciativas e de sua importância para o futuro dos sistemas de informação para AP.

A proposta do trabalho é a de identificar uma estrutura conceitual baseada no domínio que seja estável em relação as mudanças que a área atravessa.

Desta forma pretende-se que o modelo proposto venha a ser uma base robusta para futuros desenvolvimentos desses sistemas de informação, permitindo que possam vir a ser implementados de maneira a acompanhando a evolução da agricultura de precisão e da tecnologia da informação - TI.

1.3 Organização do trabalho

O Capítulo 2 apresenta um abrangente revisão da literatura sobre a AP, à guisa de estudo do domínio, o qual permite caracterizar, em linhas gerais, as várias facetas dessa tecnologia e os diversos tipos de informações envolvidos e seu processamento.

O Capítulo 3 focaliza os sistemas de informações para AP. Os exemplos extraídos da literatura são apresentados, e comentadas suas restrições face às necessidades que o estudo do domínio revelou.

No Capítulo 4 apresentam-se as bases sobre as quais se procederá ao modelamento do MOSAICo. Isto inclui conceitos sobre sistemas abertos, e iniciativas de padronização de software atuais, tanto ligadas à TI num sentido mais amplo, como relacionadas especificamente ao domínio agrícola. Abordam-se ainda paradigmas da Engenharia de Software como métodos orientados a objetos, suas características e vantagens, modelos de ciclo de vida de software, e conceitos da análise de domínio.

No Capítulo 5 apresenta-se o método de modelamento adotado, orientado a objetos, o qual se apoia em métodos propostos na literatura, reforçado por conceitos e atividades ligadas a Análise de Domínio.

No capítulo 6 apresenta-se o MOSAICo propriamente dito, com a seqüência de descrições e modelos prevista no método previamente definido.

No capítulo 7 apresenta-se uma discussão dos resultados obtidos, as contribuições do trabalhos e as perspectivas de continuidade do trabalho.

Segue-se um Anexo, que contém um detalhamento das classes de objetos identificadas no modelo, seus atributos e operações.

Finalmente, apresentam-se as referências bibliográficas utilizadas na elaboração deste trabalho.

CAPÍTULO 2

AGRICULTURA DE PRECISÃO: UM ESTUDO DO DOMÍNIO DO PROBLEMA

2. AGRICULTURA DE PRECISÃO - um estudo do domínio do problema

2.1 Introdução

As práticas agrícolas convencionais tratam os talhões de maneira uniforme. Por exemplo, múltiplas amostras de solo tomadas para representar um talhão inteiro são, em geral, misturadas numa amostra composta, a qual é enviada ao laboratório para análise. Como decorrência da análise dessa amostra, os valores dos parâmetros do solo obtidos representam uma média de todo o talhão e, com base nessa média, a taxa de aplicação de insumos, como fertilizantes e sementes, são mantidas constantes em todo o talhão.

Essas práticas permanecem, embora produtores e agrônomos saibam há anos que a produtividade do solo varia dentro de um talhão. Há tempos os produtores observam que seus talhões apresentam áreas de maior e de menor produtividade, quer sistemática quer eventualmente, respondendo de modo diferente a despeito de terem recebido tratamento homogêneo. Mesmo aqueles que já haviam reconhecido essa variabilidade, não podiam levá-la em conta no seu dia-a-dia, devido à falta de uma tecnologia adequada que lhes desse suporte (GOERING, 1992).

O conceito de agricultura de precisão, todavia, não é novo. Segundo GOERING (1993), foram C.M. Linsley e F.C. Bauer, em 1929, os primeiros a formalizar a questão e tentar tratar o problema com as ferramentas e o conhecimento disponíveis na sua época.

Como descrevem na circular n.º 346 da University of Illinois Agricultural Experiment Station, eles notaram que “os solos deste estado, freqüentemente num mesmo talhão, variam largamente na sua necessidade de calcário”. Diziam que “é importante, portanto, que testes detalhados e sistemáticos sejam feitos em campo, de tal forma que o calcário possa ser aplicado de acordo com a necessidade”.

Linsley e Bauer descreveram um procedimento de amostragem de solo que culminava com a preparação de um mapa de taxa de aplicação, para guiar a aplicação no talhão. Citam ainda um produtor que teria economizado 50% de material, ao adotar o método de distribuição de calcário baseado na acidez do solo, sugerido pelos pesquisadores.

O mesmo autor afirma ainda que, após o trabalho de Linsley e Bauer, o conceito da AP chegou a ser utilizado até certo ponto, embora de maneira precária. Os insumos eram aplicados a partir de carroças puxadas por cavalos; os fazendeiros, sobre as carroças, despejavam com pás os insumos, e como a velocidade de deslocamento era baixa, dispunham de tempo para mudar a quantidade a ser aplicada à medida que as condições de terreno variavam. Todavia, com a adoção de máquinas mais rápidas como os tratores, tornou-se impraticável alterar a taxa de aplicação dentro de um único talhão: ganhou-se em potência e perdeu-se no controle.

Essa possibilidade só foi voltar a existir com o desenvolvimento e barateamento da eletrônica, e sua maciça aplicação à agricultura no apoio à medição das características do talhão e ao controle das máquinas agrícolas, o que ocorreu a partir da década de 80, principalmente (GOERING, 1993).

Um grande entrave permanecia, e retardou por alguns anos mais o desenvolvimento da AP: o posicionamento acurado em campo que permitisse a medição de parâmetros e a aplicação de insumos com uma referência do local. Foi efetivamente a partir da entrada em operação plena e do barateamento da tecnologia GPS, no início da década de 90, que a agricultura de precisão passou a ter uma real possibilidade prática e econômica, e a ocupar um espaço considerável na pesquisa, na indústria e na produção agrícolas (COLVIN et al. 1996 e STAFFORD, 1996).

Atualmente, mais do que apenas servir de ferramenta de controle da aplicação, a tecnologia da informação parece ter o potencial de mudar o como e o porquê da forma vigente de se praticar a agricultura, através das tecnologias localizadas ou *site-specific*. Elas irão mudar dramaticamente o conhecimento sobre o que se cultiva, e vão levar o fazendeiro mais próximo do gerenciamento prescritivo (MANGOLD, 1995).

Embora a agricultura de precisão seja uma idéia antiga, o ressurgimento em novas bases tecnológicas tem motivado diversas tentativas de defini-la ou conceituá-la. Não é o objetivo deste trabalho tentar definir o que seja a AP, uma vez que a prática tem demonstrado que a rápida evolução que a área tem experimentado, abre novos horizontes a cada momento e torna rapidamente obsoletas as definições. Entretanto,

apenas a título de ilustração, é interessante apresentar como alguns dos principais autores definiram a AP.

Segundo STAFFORD (1996), a AP é a aplicação de insumos para as culturas de acordo com requisitos determinados localmente.

Para RAWLINS (1996), AP é o conceito de casar os insumos com a capacidade de produção.

HUMMEL (1996) afirma que a AP é um novo paradigma em que as decisões são "movidas a dados", e baseadas em condições presentes e passadas do solo, da cultura e do clima, juntamente com projeções sobre as condições futuras. Baseia-se ainda em princípios agrônômicos seguros aplicados numa base ponto a ponto.

Segundo SEARCY (1995), AP é o uso de parâmetros locais do solo e da cultura para fazer aplicações precisas de insumos de produção em pequenas áreas com características similares.

Para CHANCELLOR; GORONEA (1994), a AP é a tecnologia que possibilita modular a aplicação dos insumos agrícolas numa base pontual, em resposta a necessidades altamente localizadas das plantas.

Segundo GOERING (1992 e 1993), a meta final da AP é aplicar sementes, fertilizantes, e outros materiais variavelmente em cada talhão, nas taxas adequadas à produtividade do solo em cada ponto do talhão. Ainda segundo os autores a filosofia da AP é adequar os recursos aplicados à produtividade inerente do solo, isto é, menos recursos em áreas de baixa produtividade potencial, de maneira que mais recursos possam se aplicados em áreas de maior produtividade potencial.

Com base nessas afirmações, pode-se entender que um elemento chave na agricultura de precisão é a variabilidade. O que motiva a adoção da nova tecnologia é a percepção da existência da variabilidade em campo, dentro do talhão, tanto a variabilidade da produtividade como dos parâmetros relativos à produção - cultura, solo, presença de pragas, clima, entre outros.

A meta da AP é a aplicação dos insumos necessários de acordo com essa variabilidade do talhão. Para isso, é necessário levar em conta essa variabilidade no processo de tomada de decisão no manejo do talhão. Como afirma STAFFORD (1996), o conceito como um todo é totalmente dependente da aquisição e interpretação de dados sobre a variabilidade espacial.

Tendo isso em mente, pode-se identificar quatro grandes etapas básicas num sistema de agricultura de precisão: a coleta de dados, o gerenciamento da informação, a aplicação localizada de insumos e a avaliação dos resultados (UNIVERSITY OF MISSOURI /1995/). A Figura 2.1 ilustra essas etapas de um modo simplificado.

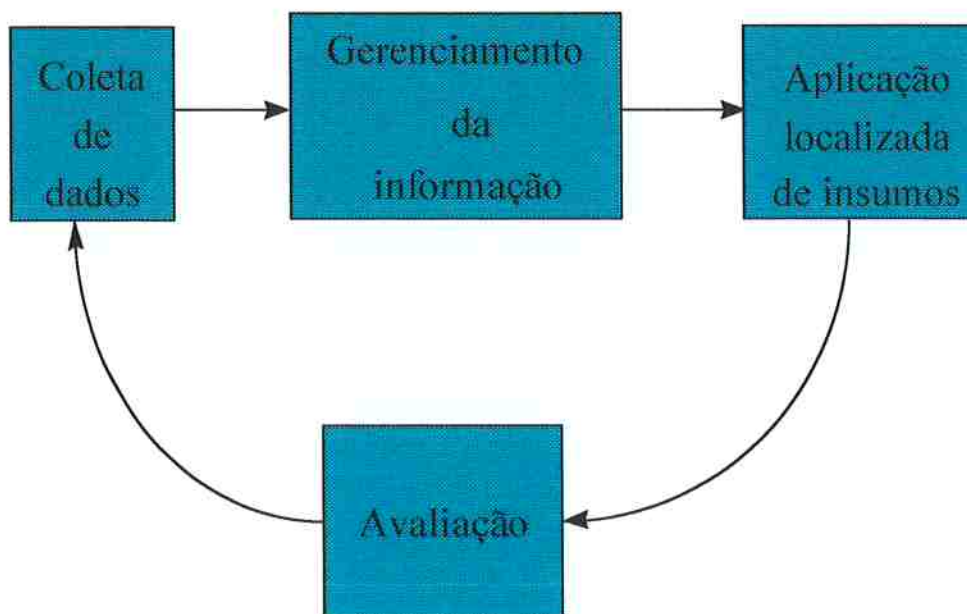


Figura 2.1- As etapas básicas da agricultura de precisão (adaptado de UNIVERSITY OF MISSOURI /1995/)

Numa primeira etapa, o objetivo é identificar a variabilidade existente em campo da produção e dos diversos fatores de produção (parâmetros de solo principalmente, mas também presença de pragas, ervas daninhas, etc.). Nesta etapa, portanto, uma extensa coleta de dados da própria produção (colheita) e dos fatores de produção deve ser feita, sempre com um nível de detalhe que evidencie a variabilidade espacial em campo. Para isso, diversos equipamentos são utilizados: coletores de dados e amostradores - automáticos ou manuais, imagens de satélite, fotos aéreas, entre outros.

A segunda etapa consiste em processar esses dados para inicialmente quantificar a variabilidade existente medida e avaliar sua relevância; em seguida, o processamento tenta relacionar a variabilidade da produção com a dos fatores de produção, buscando relações inequívocas de causa-efeito, a partir das quais se possa propor estratégias de gerenciamento agrícola que levem em conta esse cenário de variabilidade.

O resultado final desta etapa deve consistir em mapas que quantificam as ações a serem tomadas em campo, ponto a ponto, para as diversas operações do processo produtivo, em particular daquelas relacionadas à aplicação dos diversos insumos, e levando em conta o potencial de produção de cada parte do talhão. Esses mapas serão transferidos para as máquinas que irão realizar a aplicação localizada dos insumos, a etapa seguinte do processo.

Na terceira etapa, será feita a aplicação localizada dos insumos. Para isso é necessário dispor-se de máquinas agrícolas com a capacidade de realizar a aplicação de insumos em taxa variável ao longo do talhão, de forma automática, e levando em conta a sua posição no talhão. A aplicação é feita com base nos mapas da etapa anterior, que contêm a recomendação da aplicação detalhada para cada ponto do terreno.

O processo, na realidade, não acaba aqui, mas permanece em constante realimentação, uma vez que a cada nova safra novos dados estão disponíveis, novos cenários se apresentam. Essa realimentação permite que se avalie a adequação da estratégia utilizada e se refine cada vez mais todo o processo. A quarta etapa do processo é a avaliação dos resultados, que na verdade está distribuída ao longo de todo o ciclo.

Neste ponto é conveniente ressaltar que não há um enfoque único para a AP, como afirmam GOERING; HAN (1993). O enfoque mais simples é o que parte diretamente da aquisição de dados para a aplicação localizada, sem a etapa de mapeamento, e tem sido chamado "sensoriar e aplicar" (*sense and apply*), ou "sensoriar e controlar" (*sense and control*). Por exemplo, dado que as necessidades de aplicação de herbicidas aumentam com o teor de matéria orgânica no solo - m.o., um sensor mede em tempo real o nível de m.o. e seu sinal é utilizado para controlar o fluxo de herbicida à medida que o aplicador se movimenta pelo talhão. Esse controle direto elimina a

necessidade de uma coleta de dados formal, portanto dispensa a medição da posição, o uso de sistemas de posicionamento, bem como o armazenamento e processamento de dados em GIS. Todavia, isso se dá às custas de ignorar as informações adicionais que poderiam ser obtidas. Por exemplo, um mapa de infestação de ervas-daninhas poderia ser utilizado para eliminar a pulverização onde a infestação estivesse abaixo de um certo limiar.

Um segundo enfoque é o chamado enfoque de mapeamento. Idealmente, todos os fatores de produção que afetam a aplicação de um determinado insumo são medidos ao longo do talhão (para o que é necessário um sistema de posicionamento) e armazenados como mapas em uma base de dados espacial, ou Sistema de Informações de Campo. Modelos agrônômicos são inseridos em algoritmos para computar metas de produtividade e os requisitos do insumo em cada ponto, ou seja, para criar mapas de taxas de aplicação. Esses mapas são utilizados para controlar as taxas de aplicação de semeadoras e adubadoras, que precisam dispor de sistemas de posicionamento para referenciar a aplicação. Neste enfoque, segundo sugerem os autores, todo o processamento seria realizado previamente à aplicação.

Para compensar a obsolescência de dados que variam rapidamente no tempo, os autores sugerem uma combinação dos dois enfoques anteriores. Dados mais persistentes, como as características físicas do solo, estariam previamente mapeados no sistema, enquanto dados mais voláteis, como o teor de nitrogênio no solo, seriam sensoriados em tempo real para, em conjunto com os demais dados, controlar a taxa de aplicação em tempo real. O grande entrave a este enfoque, até o momento, é a ausência de sensores para medição desse tipo de parâmetro de solo em tempo real.

2.2 Justificativa da Agricultura de Precisão

Como já foi dito, a agricultura convencional baseia-se em aplicações profiláticas de agroquímicos e fertilizantes: não se sabe como os talhões variam, onde as ervas daninhas aparecerão ou a quantidade de nutrientes necessária em cada ponto; portanto, tenta-se aplicar insumos suficientes para assegurar uma produção lucrativa. Este enfoque tem uma série de limitações. Sem um conhecimento detalhado da variabilidade no talhão, o produtor ou tem que atender as necessidades das áreas mais produtivas ou mais

enfestadas, resultando em sobre-aplicação nas demais áreas, ou aplica com base na condição média, resultando tanto em sobre-aplicação em alguns locais como em sub-aplicação noutros locais (SEARCY, 1995)

Dois enfoques principais sustentam a justificativa para a mudança dessa prática convencional para a AP, segundo GOERING (1993) e GOERING, HAN (1993b). Parte-se do princípio de que, levando-se em conta a variabilidade natural dos fatores de produção, pode-se aplicar apenas as quantidades efetivamente necessárias em cada ponto.

Segundo um enfoque econômico, se comparada à aplicação uniforme, com a AP pode-se economizar na aplicação de insumos nos locais que efetivamente não necessitem, sem diminuir a produtividade nesses locais. Ou seja, em locais onde já há suficiente quantidade daquele insumo - água, algum nutriente, e a adição de mais quantidade daquele insumo não vai contribuir para elevar lucrativamente a produtividade, deixa-se de aplicá-lo. Para reforçar este ponto de vista há que se considerar que nessas áreas já bem supridas, o excesso do insumo poderia causar até uma redução da produtividade por toxidez, por exemplo.

Uma estratégia alternativa seria a de se desviar para outras áreas com maior potencial de produção o que seria aplicado naqueles locais que já possuem níveis suficientes do insumo. Neste caso, não se economiza no insumo, mas aumenta-se a produtividade global com a mesma quantidade total aplicada.

A opção entre as duas alternativas vai depender do manejo atual realizado, entre outras coisas. Se já se opera em níveis limites de produtividade (o que se acredita seja o caso na maioria dos EUA), a primeira alternativa, a da redução no uso de insumos sem redução da produtividade, parece mais adequada. Se ainda há margem para um aumento lucrativo de produtividade, a segunda alternativa, a da realocação dos insumos, pode ser adotada com sucesso.

Do ponto de vista ambiental, em qualquer das alternativas acima, na medida em que se aplicam apenas as quantidades necessárias a cada ponto, sem excedentes não

utilizáveis pela cultura naquele ciclo, diminuem-se as chances de contaminação ambiental pelas diversas formas de perdas e dispersão dos produtos no solo, no ar e na água.

Obviamente, esta é apenas parte da questão, pois não foram considerados os demais custos fixos e variáveis que a nova filosofia demanda: aquisição de equipamentos, levantamento/aquisição constante de dados (fotos aéreas, imagens, amostragem de solo, etc.), pagamento por serviços como o de correção diferencial para GPS, etc.

No caso dos EUA, diversos autores acreditam que a vertente ambiental da justificativa poderá ter uma importância maior que a econômica, na medida em que a sociedade exerce maior pressão pela conservação do meio, e passa a exigir produtos ecologicamente corretos, dispondo-se a pagar por eles.

A esse respeito, SEARCY (1995) comenta a má imagem que a agricultura e os agricultores norte-americanos têm frente à opinião pública daquele país, por darem muita ênfase ao aumento da produtividade e pouca à conservação ambiental. Tanto a opinião pública quanto os próprios agricultores, em pesquisas diferentes, concordam que usam pesticidas em demasia e dependem excessivamente deles.

SCHUELLER (1992) afirma que muitos pesquisadores sentem que as regulamentações ambientais para tentar reduzir a presença de nitratos nas águas subterrâneas serão o motivador inicial para a adoção de fertilização localizada ou espacialmente variável nos EUA. Por outro lado, afirma que o consumo anual de fertilizantes nos EUA era, então, de 45 milhões de toneladas, e esse insumo poderia responder por cerca de 25 a 45% do custo de produção de milho, por exemplo. As estreitas margens de lucro e a crescente preocupação com a poluição aumentaram o interesse na eficiência do uso dos fertilizantes. Com relação à aplicação de pesticidas, cita diversos estudos que revelam que o consumo anual de pesticidas na agricultura norte-americana era de 1,5 milhão de toneladas, a um custo de 4,5 bilhões de dólares. Para algumas culturas, o custo com pesticidas pode representar até um terço dos custos de produção. GAULTNEY (1988), citado pelo autor, afirma que certas taxas de aplicação de pesticidas poderiam ser reduzidas em 25 a 50% se levado em conta o teor de matéria orgânica do solo. Com a AP, pode-se adequar a aplicação às necessidades específicas: aplicação abaixo do necessário resultará em controle pobre da peste;

aplicação em excesso poderá resultar em efeitos tóxicos para a cultura, assim como problemas de transporte e contaminação da água subterrânea. Ainda segundo o autor, estudos mostraram a presença de pelo menos 45 pesticidas nas águas, e as legislações já existentes em diversos estados americanos a esse respeito estavam sendo preparadas para serem mais restritivas.

No caso do Brasil há uma grande disparidade na forma, no nível tecnológico empregado na produção agrícola de região para região, de cultura para cultura. É de se esperar que as vantagens da adoção da AP vão afetar diferentemente cada caso, justificando-se também diferentemente. A legislação brasileira de meio-ambiente, em geral, é tida como bastante moderna; no entanto, não é tão específica e rígida com relação à contaminação por insumos agrícolas como a norte-americana, ou a de certos países europeus. Além disso, lamentavelmente, há uma distância grande entre a lei e a prática, no caso brasileiro. Essa situação aparentemente pode significar que o aspecto ambiental não venha a representar, a curto prazo, uma motivação para a adoção de técnicas de AP no Brasil. Vale lembrar, todavia, que em vários setores há pressões de consumidores internacionais no sentido de só aceitarem produtos ecologicamente corretos. A criação de um "selo verde" para produtos que não agredam o meio ambiente, pode significar uma pressão de fora para dentro para a adoção de técnicas que conduzam a uma agricultura sustentável, também em nações onde a legislação local não obrigue essa postura, mas que dependam da exportação de seus produtos agrícolas para mercados mais exigentes.

Referindo-se à pressão pela redução do uso de pesticidas, LANDERS (1992) afirma que os governos da Suécia, Noruega e Holanda almejavam, já no início desta década, reduzir em 50% o uso de pesticidas em suas agriculturas, e o da Dinamarca pretendia diminuir pela metade, até 1997, a porcentagem de ingredientes ativos nos produtos. Adicionalmente, a Suécia cobra uma taxa em cada tratamento com pesticidas. É de se supor que serão esses países certamente os primeiros a restringirem a entrada de produtos que desrespeitem normas semelhantes de uso de pesticidas.

Em consonância com o exposto acima, MANGOLD (1995) pondera que talvez a AP se torne econômica na medida em que os produtores a utilizem para atender

demandas dos consumidores por produtos com atributos específicos. A informação pode ser a nova mercadoria da fazenda. Produtos e fazendas ricos em informação podem valer mais. Por outro lado, afirma que, a repetir-se o que ocorreu com a indústria, como a florestal, a AP servirá ao menos para litígios ambientais, e conclui que talvez essas tecnologias atendam inicialmente fins ecológicos, para depois atenderem fins econômicos, agrônômicos, fisiológicos, etc.

No futuro, os produtores poderão ser obrigados a manter registros mais detalhados do uso de fertilizantes e demonstrar que as quantidades aplicadas se aproximam bem das necessidades das culturas em cada ciclo. Isto porque cada vez mais as populações urbanas têm mostrado uma tolerância decrescente à presença de nutrientes agrícolas nas águas superficiais e subterrâneas. À medida em que regulamentações sejam criadas nesse sentido, a AP pode ser uma maneira conveniente de atendê-las e manter os registros. Usualmente há custos econômicos para atender regulamentações ambientais, e a AP pode garantir esse atendimento, mas com a possibilidade de reduzir as despesas com fertilizantes e sementes, sem redução da produtividade, segundo GOERING; HAN (1993b).

SEARCY (1995), chamou a atenção para o fato de que a AP é mais do que simplesmente uma nova tecnologia, ou um conjunto de novas ferramentas. Envolve uma nova forma de encarar a propriedade agrícola, ou uma nova filosofia de gerenciamento, tentando otimizar o uso de cada pedaço de terra, segundo seu potencial.

Segundo o autor, a AP é uma coleção de tecnologias que devem vir juntas para criar um sistema de produção que responde às necessidades das culturas e atende à necessidade de sistemas sustentáveis. Não deve ser vista apenas como um conjunto de ferramentas, mas como uma filosofia e um sistema que a implementa, e que se baseia na tentativa de eliminar perdas e aumentar a eficiência. Com relação ao aspecto da qualidade em AP, ela é uma tecnologia que tem o potencial de atender as preocupações com a qualidade dos dois tipos de consumidores de produtos agrícolas: o setor agro-industrial, que quer produtos de alta qualidade mas sem resíduos químicos que comprometam as vendas de seus produtos; e um outro tipo de consumidor - agências governamentais, grupos de consumidores e grupos ambientalistas que não mais se

preocupam com comida farta e barata, mas com sistemas sustentáveis de produção, mínimo impacto ambiental e alimentos seguros, não contaminados. Embora as vantagens ambientais sejam implícitas, faltam dados que comprovem esse impacto.

A seguir, apresenta-se um detalhamento das diversas etapas que compõem a prática da AP e os sistemas, equipamentos e informações em que elas se baseiam.

2.3 A etapa de coleta de dados

A coleta de dados é o ponto de partida para a identificação da variabilidade na produção, e é, portanto, a etapa inicial da AP.

A sua importância pode ser avaliada pelas inúmeras referências à dependência da AP em relação aos dados de campo, como: "as decisões em AP são movidas a dados" (HUMMEL, 1996); "a AP é totalmente dependente da aquisição e interpretação de dados sobre a variabilidade espacial" (STAFFORD, 1996); "na AP o gerenciamento é baseado em dados detalhados que descrevam as condições de crescimento no nível da planta" (SEARCY, 1995).

Historicamente, a ênfase inicial para a coleta de dados envolveu a amostragem manual do solo segundo uma grade, e mapas de colheita manuais ou automáticos¹. No entanto, a ausência de resultados efetivos com apenas esses dados e os altos custos da amostragem intensiva do solo levaram os pesquisadores a buscarem alternativas para contornar esses problemas. Essas alternativas resultaram na utilização adicional de outros tipos de dados, e diversas periodicidades e formas de aquisição.

2.3.1 Tipos de dados

Foi a constatação da variabilidade espacial na colheita que originou a nova tecnologia; por isso mesmo ela foi, desde o início, o principal parâmetro medido para avaliar as práticas adotadas. Em muitos casos, séries de dados da produção de vários anos foram acumuladas na tentativa de analisar as causas da variabilidade. BLACKMORE; MARSHALL (1996) reconhecem que os mapas de produção são

¹ SCHEPERS, J.S. Palestra apresentada ao SEMINÁRIO TEMÁTICO PARA PROSPECÇÃO DE DEMANDAS EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL, Sete Lagoas, 1997.

centrais na AP e influenciam grandemente o processo de decisão. Todavia, diversos autores vêm questionando a validade de se basear apenas no resultado final do processo para aferir e para validar a adequação da estratégia de manejo de precisão adotada.

BLACKMER; WHITE (1996), por exemplo, comentam que, em geral, assume-se que mapas de aplicação de nitrogênio em taxas variáveis podem ser gerados a partir de mapas de produção passados, e afirmam que as evidências sugerem que eles não são um indicador confiável da necessidade de nitrogênio.

LAMB et al. (1996), baseando-se apenas em mapas de produção de cinco anos, em áreas que receberam tratamentos homogêneos, encontraram grande instabilidade da produção ao longo do estudo, e relataram que as áreas mais produtivas a cada ano não foram as mesmas. Concluem lançando dúvidas sobre o uso prático dos mapas de produção na agricultura.

A conclusão dos autores parece precipitada. Tal resultado não invalida a utilidade dos mapas de produção, mas corrobora a tese de que eles, *per se*, não conseguem explicar toda a variabilidade existente, toda a gama de influências sofridas pelas áreas sob experimentação. Antes, parecem tornar evidente a necessidade de outras medições, seja de outras variáveis, seja da própria colheita, porém espaçadas no tempo para revelar as variações temporais.

Na busca de explicação para as causas da variabilidade espacial da produtividade, o solo foi apontado como o grande responsável, tanto que a AP chegou a ser chamada inicialmente de *farming by soil*, ou de *Soil Specific Crop Management*, título do primeiro congresso na área, realizado em Minneapolis, EUA, em 1992. Não sem motivo, acredita-se, como afirmam KHAKURAL; ROBERT; MULLA (1996), que muito da variabilidade espacial na produção seja devido a características da paisagem (*landscape*) e do solo.

Diversos trabalhos têm focalizado o estudo da influência dessas características. Para exemplificar a variada gama de parâmetros que têm sido considerados, alguns trabalhos podem ser citados.

MALLARINO; HINZ; OYARZABAL (1996) amostraram o solo numa grade de pontos na qual avaliaram N, P, K, matéria orgânica no solo, pH e a microtopografia do local. McCANN; PENNOCK; VAN KESSEL (1996) analisaram N total e mineralizado, P disponível, C orgânico, textura e profundidade do solo, além da condutividade. SKOTNIKOV; ROBERT (1996) propõem diversos parâmetros de solo para análise: pH, N (NH_4 e NO_3), P (por dois métodos, Olson e Bray), K, matéria orgânica, umidade, compactação, microelementos, capacidade de troca catiônica - CTC, permeabilidade ao ar, pH tampão, drenagem, relevo, profundidade até CaCO_3 livre. Tais parâmetros são divididos pelos autores em obrigatórios e opcionais.

Embora o solo possa explicar ou causar boa parte da variabilidade na produção, alguns outros parâmetros podem ser tão dominantes quanto o solo e estar limitando a produção em cada ponto. Ao mesmo tempo, passou a ficar claro que muitos outros fatos ocorrem entre a amostragem e análise do solo (normalmente realizada antes do plantio) e a colheita, os quais poderiam estar comprometendo a produtividade final. Por não estarem sendo considerados, esses fatos e as variáveis a eles associadas mascaram a realidade expressa no mapa de colheita. Dito de outra maneira, conforme SCHEPERS et al. (1996), esperar até a colheita para avaliar a adequação das práticas localizadas, deixa muito a desejar. Isto porque é difícil, naquele momento, determinar quais fatores provavelmente reduziram a produção e quando o problema ocorreu.

Ou seja, não basta observar apenas o "antes" (o solo) e o "depois" (a colheita); é necessário analisar também o "durante" (todo o ciclo), tanto quanto possível. Conforme afirma RAWLINS (1996), "existem variáveis dominantes controlando a produção, e elas requerem um gerenciamento dentro da safra. Para essas é necessário saber quem está limitando a produção, e ter a capacidade de eliminar essa limitação em tempo real".

Por essa razão, diversos autores incluem, além de alguns parâmetros de solo, a medição de outros parâmetros do ambiente e da própria planta nas suas pesquisas.

É o caso da incidência de doenças e de pragas, que foram consideradas por RAWLINS (1996), e é o caso ainda da existência de cobertura no solo por resíduos de culturas e da presença de ervas daninhas, segundo MALLARINO; HINZ; OYARZABAL (1996).

SKOTNIKOV; ROBERT (1996) sugerem, além desses, diversos outros parâmetros ligados à colheita: perdas de grãos, áreas não processadas, pontos de início e parada da colhedora, pontos de manobra, umidade dos grãos, os quais afetam o resultado do mapeamento da colheita.

Além das características do solo, ROBERT et al. (1996) amostraram algumas variáveis ligadas à planta, como a quantidade de biomassa e o nitrogênio absorvido, entre outras medidas, durante o crescimento da cultura, e ao fim do processo mediram, além da produção, os seus componentes.

PLATTNER; HUMMEL (1996) e EASTON (1996) sugerem o uso de mapas de população de plantas como uma informação intermediária sobre o andamento da cultura. MALLARINO; HINZ; OYARZABAL (1996) sugerem, além da avaliação do estande da cultura, a medição da altura das plantas ao longo ciclo em duas ocasiões.

SARAIVA; CUGNASCA; PAZ (1997) sugerem a utilização de mapas de semeadura, com base em informações coletadas em Monitores de Semeadora, como um passo ainda anterior que pode ser considerado. A possibilidade de problemas na semeadura não serem notados e interferirem na análise da variabilidade da produção é comentada também por SKOTNIKOV; ROBERT (1996).

Outros autores sugerem a avaliação de fatores que indiquem condições de *stress* nas plantas, e de variáveis que indiquem o estado nutricional da cultura. SCHEPERS et al. (1996) reportam o uso de sensores de reflectância para identificar o estado nutricional em relação ao nitrogênio.

Igualmente, passou-se a tentar levar em conta a variabilidade do clima, ainda que não espacialmente, mas temporalmente. Parece evidente que grande parte da variabilidade encontrada nas colheitas ano após ano, apesar das práticas de precisão, é devida às variações do clima, que mascaram a adequação ou não das estratégias adotadas, como afirmam SCHEPERS et al. (1996). SKOTNIKOV; ROBERT (1996) adotam um conjunto de variáveis climáticas, como temperatura diária, graus-dia, precipitação, velocidade do vento, eventos excepcionais, os quais devem ser registrados

diariamente a fim de ajudar a explicar diferenças de produção entre diferentes safras. Esta é, com certeza, uma das maiores dificuldades a serem superadas.

Finalmente, o manejo adotado para a aplicação dos diversos insumos é outro conjunto de dados de importância a ser levantado. Tipo do insumo (variedade, composição, pureza, etc.), quantidade, local, época e forma de aplicação, bem como qualidade da operação, falhas ocorridas, pontos de parada ou de manobra das máquinas, áreas não processadas, são algumas das variáveis que podem ajudar a explicar a variabilidade na produção, conforme a proposta de SKOTNIKOV; ROBERT (1996).

2.3.2 Formas de aquisição de dados

O grande número de variáveis potencialmente importantes para a adequada análise do problema da variabilidade da produção, e a grande quantidade de dados necessários para caracterizar espacialmente cada variável, exacerbam o problema da aquisição de dados em campo.

Tradicionalmente, essa coleta de dados foi manual para um dos principais parâmetros: o solo. Na AP, o método inicialmente adotado para caracterizar a variabilidade se baseava na amostragem segundo uma grade fixa de pontos que cobrisse tão regularmente quanto possível o talhão. Segundo GOERING (1992), nas condições dos EUA, o custo da amostragem e análise de solo limitava a resolução da grade a uma amostra por hectare. Isto é muito pouco para a precisão que se pretende para o sistema como um todo.

GOTWAY; FERGUSON; HERGERT (1996) afirmam que a acurácia dos mapas de recomendação depende do espaçamento da amostragem em campo. Realizaram um estudo para avaliar os efeitos do espaçamento da amostragem nas recomendações de N, P e Zn em Nebraska, EUA, usando para isso uma grade triangular, e diversos espaçamentos de amostragem, além de diversos métodos de interpolação. A intensidade da amostragem, 54 amostras/ha, permite uma avaliação da precisão dos mapas e da sua sensibilidade aos métodos e escalas utilizados.

NOLIN; GUERTIN; WANG (1996) estudaram a variabilidade em solos bastante homogêneos na área das Terras Baixas de Montreal, adotando uma grade de

amostragem de 30 m, e realizando 130 amostras numa área de 12 ha. Apesar da aparente uniformidade do solo, a variabilidade encontrada nos nutrientes foi julgada suficiente para viabilizar a adoção da AP.

GERHARDS; MORTESEN; WYSE-PESTER (1996) realizaram uma intensa amostragem de campo para determinar a variabilidade espacial de quatro espécies de ervas daninhas por quatro anos. A amostragem foi realizada antes da aplicação de herbicida de pós-emergência numa grade regular de 7m. Verificaram que três das quatro espécies tendem a se concentrar em manchas, e sugerem a necessidade de novos métodos para uma amostragem mais eficiente utilizando análise de imagens.

CAHN; HUMMEL; BROUER (1994) estudaram os padrões espaciais de propriedades do solo, a partir de amostragens realizadas numa grade de 50m, em uma área de 3,3ha, e numa sub-área de 0,25ha recolheram 200 amostras randômicas. A partir de análises de semi-variância dos dados, os autores sugerem que a redução do intervalo de amostragem de 50 para 1m reduziria significativamente a variância das estimativas dos parâmetros analisados.

Para o solo, a amostragem manual em campo ainda é o principal método de obtenção. Por ser muito dispendiosa, e porque a informação sobre o solo é fundamental, outras formas de obtenção têm sido alvo de diversas pesquisas, e já há sistemas para automatizar até certo ponto a coleta das amostras. Estão disponíveis no mercado norte-americano veículos especialmente adaptados para esse fim, com braços articulados para a perfuração e coleta do solo, acoplados a receptores GPS de modo a permitir identificar o local das amostras. Amostradores de solo automatizados também são tema de pesquisas na Universidade de Minnesota, e mesmo no Brasil na Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

Apesar desses recursos, a coleta em campo ainda será uma atividade que consumirá muito tempo, e mão de obra, e apresentará um alto custo de análise laboratorial. Outras variáveis, que não o solo, apresentam dificuldade semelhante na sua medição, como por exemplo a infestação por ervas daninhas, pragas e doenças, e o estado nutricional das plantas. Por esse motivo, um grande esforço está sendo dirigido no sentido de diminuir a densidade necessária de amostras, pelo direcionamento da

amostragem para áreas consideradas mais heterogêneas, por exemplo correlacionando características do solo com outras medidas mais fáceis ou baratas.

Pode-se combinar a amostragem manual de solos realizada de forma mais esparsa, com outro dado de mais fácil obtenção, para obter uma resolução adequada. Para isso supõe-se a existência de uma covariância entre o parâmetro de solo de interesse e o outro dado medido, como afirma SCHUELLER (1992). Um exemplo que tem sido bastante explorado é a correlação da topografia com alguma característica do solo, por exemplo o teor de matéria orgânica, a textura, a profundidade, o teor de N ou P. Vários autores têm utilizado essa técnica, que tem sido chamada de amostragem dirigida ou seletiva.

No trabalho de McCANN; PENNOCK; VAN KESSEL (1996), foram divididas as áreas em estudo em três unidades de manejo - topo, encosta, depressão, a partir de um modelo de elevação digital do terreno (*DEM - digital elevation model*), construído com base em dados topográficos de campo. Essas três unidades de manejo apresentaram relação com as propriedades pedológicas amostradas em campo, sugerindo que o delineamento das unidades de manejo com características uniformes poderia ser feito sem uma intensa amostragem de solo em campo; são necessárias apenas algumas amostras para aferir os valores em cada unidade delineada. Por outro lado, a necessidade de se efetuar um levantamento topográfico mais detalhado em campo também pode ser um obstáculo num caso real, embora não o seja numa pesquisa. Para escapar desse problema, os mesmos autores sugerem o uso de imagens digitais derivadas de fotos aéreas. Classificando tons de cinza em escalas que representam topo, encostas e depressões, mapas de grande escala foram produzidos. A acurácia desses mapas indica, segundo os autores, que a análise de imagens de fotos aéreas branco-e-preto digitalizadas é uma ferramenta valiosa para o delineamento das unidades de manejo.

Inúmeros outros trabalhos exploram e afirmam a importância do sensoriamento remoto como ferramenta para a obtenção de dados para a AP, particularmente para determinar zonas de gerenciamento dentro do talhão.

ANDERSON; YANG (1996) utilizam fotografia aérea na faixa do infravermelho e videografia multiespectral para, em conjunto, mapear e estratificar dois talhões de

sorgo, em zonas de resposta espectral homogênea. Um número limitado de amostras de solo e de plantas foi recolhido no talhão para caracterizar as condições bióticas e edáficas dentro de cada zona. Os resultados obtidos no primeiro ano indicam que a videografia multiespectral pode ser utilizada para desenvolver zonas de gerenciamento intra-talhão. A estratificação, neste caso utilizando dados de imagens, reduz a quantidade de dados do talhão necessários para caracterizar as unidades de manejo, pela redução da variância associada com cada estrato.

SCHEPERS et al. (1996) conduziram um estudo que incorporou fotografia aérea, monitoração de N com sensores de reflectância em movimento (*on-the-go*), e imagens aéreas digitais para determinar a aplicação dessas ferramentas na ajuda à interpretação dos efeitos das práticas de gerenciamento. Os resultados mostraram que o sensoriamento remoto forneceu uma indicação antecipada de onde estavam ocorrendo problemas no talhão. Parte da variação detectada nas imagens foi aparente no mapa de produção.

Alguns resultados, todavia, mostraram que a sensibilidade obtível com o sensoriamento remoto nem sempre atende as necessidades da AP.

BLACKMER; WHITE (1996) realizaram um ensaio de campo com aplicação de N, no qual os talhões foram fotografados do ar com filme colorido; as fotos foram digitalizadas, e os padrões de contraste de cor entre as faixas de aplicação de N foram mapeadas. Os mapas foram calibrados com análise dos caules do milho no fim da estação. Os mapas foram então utilizados para identificar as regiões no mapa onde os dados dos monitores de colheita puderam ser amostrados para se ter valores médios, a fim de construir mapas de resposta de produção. Os mapas de resposta à adubação foram então utilizados para desenvolver os mapas de necessidade de fertilização, e para calcular o benefício econômico potencial de se usar aplicação localizada. Os resultados, segundo os autores, mostram que as tecnologias correntes não têm adequada sensibilidade para detectar padrões espaciais de pequena escala, de grande importância. Alguns desses padrões resultam da aplicação não uniforme de fertilizante.

Apesar dessa afirmação dos autores, novos satélites com novas tecnologias estão sendo colocados em operação e já se espera que esse aumento de sensibilidade e da resolução atenda as necessidades da AP.

O uso do sensoriamento remoto na obtenção de dados em tempo real, ou várias vezes ao longo da safra, é uma possibilidade que tem sido utilizada, como em SUDDUTH, et al. (1996), e apontada como bastante promissora, já que tais dados poderiam contribuir para a correção das estratégias de gerenciamento tão logo algum problema seja detectado, como afirma RAWLINS (1996).

Pode-se esperar que esta área apresentará um crescimento significativo a curto prazo, uma vez que a demanda por serviços das empresas que fornecem imagens de satélite será um fator a impulsionar as pesquisas. Delas deverão resultar novos métodos de análise, novos sistemas e satélites que permitam obter imagens e informação com a resolução exigida pela AP. Ao mesmo tempo, pode-se já notar o crescimento de serviços alternativos como as fotos aéreas de baixa altitude, vídeo aéreo, que, a partir de aeronaves de baixo custo, inclusive ultraleves, podem realizar vôos sob medida para atender as necessidades dos usuários. Tais serviços estão disponíveis mesmo no Brasil.

A falta de sensibilidade dos métodos de imagens para pequenas escalas é apenas uma justificativa a mais para que outra forma importante de aquisição de dados esteja sendo fortemente enfocada pela pesquisa: a dos sensores em campo. Diversos trabalhos estão sendo realizados visando o desenvolvimento de sensores que, acoplados a uma máquina que percorra o talhão, permitam mapear variáveis do solo e da planta.

Como exemplo, pode-se citar FELTON (1991), FELTON; McCLOY (1992) e THOMPSON et al. (1991), apud UNIVERSITY OF GEORGIA at ATHENS - UGA - (1996a), que abordam o uso de reflectância de infravermelho como método para detecção de ervas daninhas no talhão usando a diferença na reflexão entre as plantas e o solo. Com base na informação de sensor pode-se aplicar seletivamente o herbicida.

A grande procura é por sensores que permitam realizar análises do solo em tempo real, com as máquinas em movimento (*on-the-go*), o que reduziria drasticamente o custo da AP. Tais sensores poderiam ser acoplados às máquinas agrícolas e coletar

informações sobre o solo ao mesmo tempo em que outras operações fossem realizadas, como o preparo do solo, por exemplo.

Segundo GOERING (1992) a pesquisa em várias universidades está dirigida para o desenvolvimento de sensores de tempo real para o solo. Um tipo de sensores dirige energia na faixa do infravermelho para um sulco no solo e analisa o comprimento de onda que retorna; dessa forma determina o teor de matéria orgânica e/ou a umidade do solo. Um sensor ISFET (*ion-selective field effect transistor* - transistores a efeito de campo seletivos a íons) está sendo desenvolvido para determinar a fertilidade em tempo real. A medida em que a membrana do ISFET responde a íons nitrato, por exemplo, o sensor serve como um indicador da concentração desse íon no solo. Na avaliação da necessidade de novos sensores, a prioridade vai para aqueles cujas medidas são mais relevantes para a AP e que variam mais rapidamente. Por exemplo, uma medida de textura dos solos de um talhão é suficiente, já que a textura não varia com o tempo; já a umidade e o teor de nitrato varia bastante no tempo, o que aumenta a necessidade de sensores tempo real para essas variáveis.

SCHUELLER (1992) afirma que operações de campo proporcionam uma boa oportunidade para a medição de dados, já que os equipamentos agrícolas têm mesmo que percorrer o talhão para realizar uma tarefa, por exemplo o preparo do solo. Para o autor, um problema que persiste é a velocidade da realização das medidas; medições muito lentas comprometem a tarefa original que está sendo realizada (o preparo do solo); no entanto, medições muito rápidas comprometiam, na época, a acurácia do sistema de posicionamento e dos sensores específicos. Como parâmetros de interesse potencial são citados: solo (matéria orgânica, teor de umidade, topografia), plantas (altura, índice de área foliar, estresse de umidade, teor de umidade, colheita), infestação por pragas. A dificuldade na obtenção das medidas se deve aos inúmeros fatores em jogo, os quais mascaram os resultados, como as mudanças ambientais e a natureza complexa e dinâmica dos sistemas biológicos.

2.3.3 Periodicidade

Um fator de importância na aquisição dos dados é a periodicidade com que eles devem ser coletados. Fundamentalmente, esta questão se prende à necessidade de se

dispor de dados atualizados sobre cada parâmetro para embasar a análise e a tomada de decisão. Nesse sentido, uma questão a se avaliar é a variabilidade temporal do parâmetro.

LARK; STAFFORD (1996) dividem os fatores entre os que são constantes ou variam muito lentamente (como as propriedades físicas do solo), e outros fatores que são efêmeros, mudando em sua importância e distribuição espacial de uma safra para outra (como os efeitos de pestes ou doenças trazidas pelo vento). Similarmente, ROBERT et al. (1996) referem-se a características duráveis das diversas células de amostragem, tais como profundidade do solo, textura, topografia. GERHARDS; MORTENSEN; WYSE-PESTER (1996) verificaram que, para determinadas espécies de ervas daninhas, os mapas de infestação podem ser utilizados no gerenciamento em anos seguintes, dada a pouca habilidade das espécies de colonizar novas áreas.

É evidente que características pouco mutáveis não precisam ser constantemente avaliadas, como é o caso da textura do solo; enquanto que características claramente mutáveis necessitam ser mensuradas com maior frequência, como é o caso do teor de um nutriente tão móvel como o nitrogênio. Outras questões que influenciarão na determinação da periodicidade da coleta de dados são o custo da obtenção da medida, e a sua relevância no processo, isto é, na determinação de mapas de aplicação.

As técnicas citadas acima, de obtenção de dados a partir de medidas indiretas (como o sensoriamento remoto) e o desenvolvimento de sensores específicos para medição em campo, contribuirão para disponibilizar os dados com maior frequência, a menores custos. Essa situação deverá contribuir para que se obtenham melhores resultados na avaliação da causas da variabilidade, uma vez que se poderão isolar com maior precisão os fatos e o momento em que limitações na produção ocorreram.

2.3.4 Posicionamento

No enfoque de mapeamento da AP (em oposição ao anteriormente citado *sense and control*), o conhecimento da posição tanto no momento da coleta de dados, como posteriormente no momento da aplicação de insumos, é fundamental.

SCHUELLER (1992) classifica os sistemas de posicionamento em três categorias: *dead reckoning*, triangulação (em terra), e por satélite. Os sistemas *dead reckoning* baseiam-se no conhecimento da direção e distância e apresentam o inconveniente do acúmulo de erros. O sistema de triangulação, mais corretamente denominado trilateração, usa as distâncias em relação a pontos conhecidos. O autor cita o sistema Ag-Nav II, que foi desenvolvido especificamente para a agricultura para guiar máquinas no campo, mas que foi significativamente utilizado para o posicionamento. Um outro sistema foi desenvolvido no CEMAGREF, França, com precisão de 1m em até 200m de distância. Diversos outros sistemas são referidos pelo autor, utilizados e/ou desenvolvidos na década de 80, baseados tanto em radiofrequências como em feixes de *laser*, estes com a desvantagem adicional de só funcionarem em visada direta.

GOERING; HAN (1993) referiam-se à tecnologia do GPS (*global positioning system* - sistema de posicionamento global) como a mais promissora das tecnologias para as necessidades de mapeamento da AP. Similarmente, SCHUELLER (1992) se referiu à tecnologia por satélite como uma “alternativa possível”. Atualmente, sem dúvida o GPS é a alternativa que viabilizou a AP, como avalia STAFFORD (1996).

Baseado num conjunto de 21 satélites (mais três de reserva), o sistema foi desenvolvido pelo governo dos EUA, a princípio para navegação militar ao redor de todo o globo. Os satélites transmitem em duas frequências portadoras, L_1 a 1575,42 MHz e L_2 a 1227,60 MHz. Nelas, um código preciso (P) e um código menos preciso (C/A)² são modulados. Os receptores GPS comparam o código recebido do satélite com uma réplica exata gerada no próprio receptor, e usam a diferença de tempo entre os dois sinais para determinar a distância ao satélite. Essas medições de pseudo-distâncias (*pseudo range* a pelo menos quatro satélites permitem computar a posição do receptor no espaço, determinando sua latitude, longitude e altitude. Atualmente apenas o código C/A está disponível para uso civil (pois o código P é criptografado num código Y, apenas para uso militar), e sua acurácia esperada é de 50m; todavia ela pode ser grandemente melhorada com o uso de DGPS, ou técnica GPS diferencial. Um receptor GPS, denominado estação base, ou de referência, é colocado numa posição conhecida e

² C/A - *coarse / acquisition*. O código C/A só é transmitido em L_1

fixa e calcula erros de posicionamento. Esses erros são transmitidos por rádio para um outro receptor GPS móvel, distante até 160km, que os usa para corrigir seus cálculos de posicionamento (GOERING; HAN, 1993).

O uso do sistema GPS com correção diferencial é atualmente a melhor opção para viabilizar a AP. Para se obter esse sinal da estação base, duas opções são possíveis: dispor de uma estação base própria, ou pagar pelo sinal de correção fornecido por provedores que atuam em escala regional ou mesmo global. Nos EUA, por exemplo, há diversas formas de se obter o sinal da correção do erro de posicionamento. Há redes de estações privadas que transmitem o sinal em radiofrequências em FM e em AM; há sinais da marinha ou guarda costeira nas áreas próximas à costa ou aos grandes rios, como o Mississippi; há ainda provedores do sinal de correção por satélite, que utilizam o canal de um outro satélite (não ligado ao sistema GPS), para enviar correção numa escala continental, baseado numa rede de estações em terra que cobre toda a região. Conforme o meio de transmissão desse sinal a precisão obtida com o uso de GPS diferencial pode chegar a menos de 1m, chamada precisão sub-métrica [PAZ97].

Essas alternativas são interessantes pelo custo extra que representa uma estação base. Embora referências a preços devam ser tomadas com cautela, em função de sua alta variabilidade, face aos efeitos da concorrência e à diminuição do custo da tecnologia, valores aproximados de uma assinatura anual do sinal de correção estão na faixa de US\$800³, enquanto uma estação base aproxima-se da casa dos US\$10.000. A necessidade de um receptor extra para servir como estação base onera o uso do sistema em termos de seu investimento inicial, e amarra a acurácia obtida a um certo patamar tecnológico.

No Brasil, todavia, poucas alternativas existem ainda. Há uma rede de estações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, que cobre parte do território, mas que não fornece correção em tempo real, e cobra uma taxa para fornecer arquivos de correções. Essa taxa, da ordem de R\$ 120/dia de sinal, resulta num custo bastante alto se projetado para uma utilização intensa durante o ano. A alternativa de correção por satélite já existe no Brasil há poucos meses, porém mais uma vez a um alto custo. Os

³ Dados fornecidos por S.W.Searcy, da Texas A&M University.

valores anunciados, da ordem de US\$3.000/ano⁴ de assinatura, são bastante superiores aos praticados no mercado americano, e são atribuídos aos custos das telecomunicações e à baixa demanda existente. Além dessa assinatura, o custo da aquisição do equipamento de recepção específico para o sinal de correção está fixado na ordem dos US\$ 5.000. Tendo esses valores em mãos, neste momento o custo de uma estação base não é desvantajoso, especialmente se puder ser compartilhado por um grupo de usuários, por exemplo uma cooperativa. De todo modo, é bastante provável que esse quadro venha a sofrer alterações a curto prazo.

Para uma detalhada descrição do sistema GPS, sugere-se a consulta a PAZ (1997).

2.3.5 Comentários finais sobre a coleta de dados

A coleta de dados certamente tem um papel preponderante na AP pois representa a base de todo o processo.

Já há tecnologia, equipamentos e serviços no mercado que possibilitem o início da prática da coleta de dados visando uma futura aplicação localizada de insumos. É forçoso notar que essa tecnologia ainda não está consolidada, que deverá evoluir muito num futuro imediato, como conseqüência da evolução das tecnologias-meio (eletrônica, satélites, etc.) e também como decorrência do melhor conhecimento dos padrões de variabilidade, suas causas, importância relativa, etc., enfim da evolução da própria AP.

Embora haja um grande número de problemas relacionados ao processo de coleta de dados atuais, e suas acurácia, densidade de amostragem e freqüência necessárias, já é oportuna a coleta de dados para começar a formar uma base de dados mínima sobre a qual se possa proceder a análises, ainda que com as ressalvas existentes.

Há uma grande necessidade de sensores específicos para medição de inúmeras variáveis de campo, particularmente em tempo real, e embora haja um considerável esforço de pesquisa, é difícil prever resultados a curto prazo. Nesta área em particular, a agricultura não conta diretamente com os resultados de outras áreas.

⁴ Valores fornecidos pela empresa fornecedora dos serviços e equipamentos.

O mesmo não acontece com as tecnologias de posicionamento, como o GPS, da qual a agricultura é apenas mais um usuário. A rápida expansão desse mercado para inúmeras aplicações insuspeitas, e o grande interesse que tem despertado, tornam provável o barateamento desse tipo de serviços, equipamentos e tecnologia para níveis algo semelhantes à telefonia. A AP irá se beneficiar desse processo.

O mesmo se pode dizer das tecnologias de satélites e imagens de maneira geral. Diversas áreas impulsionam a evolução da qualidade, da resolução, da maior disponibilidade de dados obtidos por essas tecnologias. Como decorrência, os custos também deverão decrescer, beneficiando a AP.

Finalmente, uma questão sempre importante, e sempre pendente, a padronização de equipamentos e formatos deverá avançar na direção de uma solução, para permitir uma maior integração das soluções existentes no mercado com benefícios para todas as partes. No capítulo 4 aborda-se essa questão.

2.4 A Etapa do Gerenciamento da Informação

Entre a aquisição de dados e a realização de operações de aplicação localizada de insumos, está uma etapa crítica do processo da AP, que será aqui chamada de Gerenciamento da Informação.

De uma forma resumida, esta etapa consiste nas seguintes operações:

- efetuar correções nos dados coletados em campo, relativas aos erros dos métodos e equipamentos de coleta;
- processar os dados coletados para inicialmente avaliar e quantificar a variabilidade espacial;
- tentar relacionar a variabilidade da produção (colheita) com a dos fatores que influenciam na produção (solo, insumos, pragas, etc.), buscando relações de causa - efeito;
- a partir dessas relações obtidas, propor estratégias de gerenciamento agrícola, expressas através de mapas de aplicação de insumos variavelmente em campo, para

atingir as metas desejadas de gerenciamento: metas de produtividade, ou de redução do uso de insumos, ou de redução do impacto ambiental.

Esta é a etapa mais crítica atualmente, uma vez que já se dispõe de equipamentos para a coleta de dados e equipamentos para aplicação localizada, mas falta justamente o conhecimento, a técnica para transformar o conhecimento da variabilidade das entradas em estratégias efetivas de gerenciamento⁵. Essa posição é sustentada por diversos autores como COLVIN et al. (1996), SKOTNIKOV; ROBERT (1996), SEARCY (1995), BLACKMORE (1996), LARSCHEID; BLACKMORE (1996) e MANGOLD (1995).

Há uma grande heterogeneidade nas iniciativas documentadas sobre a manipulação dos dados coletados. A maioria dos trabalhos concentra-se em aspectos particulares do problema do gerenciamento, envolvendo temas como:

- a identificação dos erros de coleta e o desenvolvimento de algoritmos de correção;
- a análise da variabilidade e a seleção de um método adequado para essa análise;
- a desigual distribuição dos pontos amostrados ao longo do talhão e as formas (métodos) de atribuir valores a cada ponto, por exemplo estimando valores para locais não amostrados;
- a identificação de correlações que expliquem a variabilidade da produtividade, e a seleção dos parâmetros de campo cujos mapas serão conjuntamente analisados; a seleção do método de análise;
- as estratégias de gerenciamento a adotar a partir da variabilidade constatada (otimizar a lucratividade, aumentar a produtividade, restringir a perda de insumos para o ambiente);

⁵ Este fato pôde ser claramente constatado pessoalmente nas apresentações e nos comentários entre os participantes dos mais recentes e importantes eventos da área, como o 3rd *International Conference on Precision Agriculture*, em Minneapolis, EUA, em 21-23/6/96, e a *First European Conference on Precision Agriculture*, em Warwick, Reino Unido, em 7-10/9/97.

- o tipo de unidade de manejo a adotar (um *continuum*, por células, por zonas de manejo);
- o desenvolvimento de ferramentas computacionais de apoio à manipulação dos dados no gerenciamento.

Essas abordagens parciais justificam-se como campo de pesquisa, pelo fato de que em todas elas ainda há questões candentes a serem solucionadas. Todavia, todas essas questões devem ter uma solução, numa etapa real de gerenciamento, para tornar possível a efetiva implementação da AP. A grande quantidade de aspectos a serem potencialmente considerados evidencia a complexidade da etapa e a dificuldade de integrá-los numa abordagem única.

Com o intuito de proporcionar uma melhor compreensão dessas operações e da importância de cada uma delas na etapa do gerenciamento da informação, apresenta-se a seguir uma breve revisão da literatura, na qual procurou-se classificar os trabalhos pelo tipo de problema abordado, dentre os acima citados.

2.4.1 Operações prévias ao mapeamento: correção e conversão de dados

No processo de aquisição de dados ocorrem problemas de diversas ordens que podem resultar no registro de dados com erros. Algumas dessas fontes de erros são já conhecidas e podem e devem ser posteriormente compensadas pela filtragem ou correção dos valores. Este é o caso, por exemplo, dos erros de posicionamento inerentes ao uso do sistema GPS, e dos erros devidos ao *lag time* (tempo de atraso) nos monitores de colheita comerciais.

Como esses erros, em determinados casos, não guardam relação espacial, mas temporal, a sua correção deve ser efetuada previamente à sua entrada na ferramenta de processamento de dados geográficos, o GIS por exemplo.

BLACKMORE; MARSHALL (1996) referem-se aos erros sistemáticos que ocorrem durante o mapeamento da colheita por monitores de colheita comerciais. Dois erros são identificados: o atraso entre a colheita e a mensuração pelo sensor, que

provoca um deslocamento na posição atribuída à medida (chamado de *lag time*), e a largura efetiva de corte da colhedora, isto é, a largura efetiva da cultura que está sendo colhida a cada instante, a qual difere da largura de corte nominal da máquina em consequência dos desvios de direção pelo operador. Esses erros, a princípio, deveriam ser corrigidos pelo próprio monitor de colheita, como reclamam os autores, uma vez que o mapa de colheita é de importância capital no processo de AP. Enquanto esse tipo de problema persiste nos equipamentos, a correção *a posteriori* é necessária e tem sido considerada, ao menos no nível da pesquisa.

SKOTNIKOV; ROBERT (1996) afirmam que esse tipo de problemas pode causar um erro na estimativa na colheita de até 35%. EVANS; HAN; RAWLINS (1995) referem-se à necessidade de programas específicos para o processamento dos dados de colheita, previamente à sua entrada no GIS.

Uma correção semelhante é necessária para dados de posicionamento, sempre que for utilizado DGPS sem correção em tempo real no próprio equipamento. Neste caso, os dados obtidos em campo necessitam ser processados juntamente com os dados de correção, os quais são fornecidos, ou por uma estação base local, ou por um provedor comercial ou estatal de sinal de correção. Usualmente a correção é feita com o uso de pacotes de software fornecidos, ou pelos próprios fabricantes do equipamento, ou pelos provedores dos serviços.

Eventualmente, pode-se considerar que este tipo de operação faz parte do processo de aquisição de dados; porém, como este processamento *off-line* ocorre no escritório e não junto com a coleta de dados, ele foi incluído nesta etapa do gerenciamento.

Alguns outros tipos de erros tornam-se mais aparentes a partir do mapeamento dos dados, como a existência de valores muito discrepantes dos da vizinhança, os efeitos de bordas no caminhar das máquinas, etc., e devem ser tratados posteriormente com o auxílio dos programas do tipo GIS na etapa de mapeamento, item 2.4.2 .

Um problema no atual panorama da AP é a necessidade de conversão de formatos de dados para compatibilizá-los com os formatos aceitos por ferramentas como

GIS e softwares de mapeamento. Isso se deve a uma falta de padrão formal e à multiplicidade dos equipamentos e técnicas para coleta de dados, por um lado, e aos diferentes formatos aceitos pelos GIS e softwares de mapeamento, de outro lado.

2.4.2 Mapeamento: a obtenção de mapas a partir das amostras

Sob essa denominação comum de mapeamento, diversas operações estão compreendidas, as quais visam obter um mapa da variável em questão que cubra toda a área do talhão, a partir de uma certa quantidade de pontos amostrados. Entre essas operações pode-se citar, por exemplo, a análise da variabilidade dos dados amostrados, a estimativa de valores em pontos não amostrados, a suavização dos mapas, a definição de uma grade de células de trabalho (como preconizam diversos autores), enfim uma série de processamentos ligados a métodos estatísticos, de processamento de imagens e geoestatísticos, entre outros, e sobre os quais paira grande controvérsia quanto à sua adequação e aplicabilidade, mas sobre os quais há o consenso da sua necessidade, de alguma forma.

Um ponto importante a partir dos dados coletados é a quantificação e a análise da variabilidade dos parâmetros amostrados, as quais irão mostrar se, a princípio, há variabilidade suficiente que justifique a prática, dita de precisão. Como, em geral, a distribuição das amostras tomadas pelo campo não é uniforme, esses métodos permitem adicionalmente que se estimem os valores dos locais não amostrados, de modo a obter uma cobertura para todo o talhão. Diversos métodos têm sido propostos, estudados e avaliados para permitir essa quantificação e análise.

LARK (1997) afirma que a utilidade dos dados amostrados segundo uma grade de pontos em campo pode ser grandemente melhorada pelo uso de *kriging*, "um método de interpolação que otimiza (no sentido dos mínimos quadrados) e estima de maneira não polarizada o valor de um parâmetro em pontos não amostrados ou o valor médio do parâmetro numa região especificada (*block kriging*)". Além disso, o erro médio quadrático da predição é também estimado. O *kriging* baseia-se no variograma, um modelo de dependência espacial da variação dos valores da propriedade.

Segundo HAN et al. (1993), e GOERING; HAN (1993), a análise clássica, isto é, a regressão, tem sido utilizada para estimar propriedades do solo em pontos não amostrados. A suposição básica na regressão é a de que as amostras de solos são independentes; todavia, esta suposição pode ser inadequada para solos, pois freqüentemente os dados de solos são auto-correlacionados no espaço. Isto leva a amostragens desnecessariamente grandes e a erros de amostragem maiores do que quando se utilizam os métodos geoestatísticos. Estes baseiam-se na teoria da variável regionalizada de Matheron (MATHERON (1971) apud HAN et al. (1993)), e dentre eles tem sido particularmente utilizado o *kriging*.

Todavia, segundo os autores, algumas suposições que a teoria de Matheron adota nem sempre se verificam para os parâmetros do solo. Essas suposições são de que os dados devem ter distribuição normal, ou serem passíveis de normalização, e devem ser estacionários até a segunda ordem. Ainda segundo HAN et al. (1993), a suposição da distribuição normal não é normalmente válida para solos, e embora algumas das distribuições possam ser transformadas em distribuição normal, isso nem sempre é válido. Com relação à estacionaridade, os autores afirmam que não é verdadeira para dados de solo, já que há freqüentemente tendências espaciais em dados de solos. Em tais casos, algumas técnicas de *detrending* devem ser utilizadas previamente ao *kriging*, ou o *kriging* universal deve ser utilizado. No entanto, além de sua complexidade computacional, a base teórica do *kriging* universal tem sido contestada por alguns autores.

Embora tenha havido progressos, os métodos geoestatísticos não resolvem a predição de propriedades do solo, segundo os autores, que sugerem que um novo enfoque deve ser adotado para a solução do problema. Sua proposta consiste em se utilizar estatística não-paramétrica como alternativa, já que a única suposição requerida é usualmente a da continuidade da distribuição. Os autores propõem, então, o uso de um método de ponderação da distância -NPDW (*non-parametric, distance weighting*) por eles desenvolvido, o qual, nos dados apresentados, estimou propriedades do solo com acurácia aceitável e com mais velocidade que o método de *kriging*. Além disso, o método é mais geral e requer menos suposições.

EVANS; HAN (1994) utilizaram técnicas de interpolação para transformar dados pontuais de amostragem em dados de um GIS. Utilizaram e compararam *kriging* e ponderação de distância (*distance-weighting*). Os resultados mostraram que, em geral, métodos de ponderação de distância (o convencional e o não-paramétrico) desempenharam melhor que os métodos de *kriging* (com modelo de semi-variograma esférico e com modelo de semi-variograma exponencial). Concluíram, também, que a aplicação de *detrending* nos dados amostrados pode melhorar significativamente a acurácia da interpolação, se um número suficiente de dados de amostragem estiver disponível para remover tendências verdadeiras.

McBRATNEY; WHELAN; ROSSEL (1996) descrevem o desenvolvimento de um software para interpolação espacial de dados para AP. O método principal é o *kriging*, global ou local, não-estacionário, para pontos ou blocos sobrepostos de tamanho definido pelo usuário. As funções de covariância generalizada são automaticamente ajustadas e a vizinhança de *kriging* pode ser definida ou ajustada automaticamente. Algoritmos de deconvolução estão sendo implementados para melhor utilizar dados de monitores de colheita e dispositivos de rastreamento de solos. Os autores estudam outros algoritmos para utilizar melhor os dados mais esparsos de ervas daninhas, pestes de solo e atributos de fertilidade de solo, combinando esses dados com informações prévias de modelos digitais de terreno e sensoriamento remoto, de mais alta resolução. Os autores comparam o método com interpolações lineares e pelo inverso do quadrado da distância, e sugerem critérios para escolha do melhor método de interpolação, dados o número de amostras e a densidade de amostragem.

McBRATNEY; PRINGLE (1997) citam diversos outros métodos para predição espacial, além do *kriging*, como médias e medianas globais, médias móveis, interpolação pelo inverso do quadrado da distância, interpolação de Akima, interpolação pelo vizinho natural, *quadratic trends surfaces*, e *splines* Laplacianas.

CHANCELLOR; GORONEA (1994) utilizaram variogramas na análise de dados, para estudar o efeito da variabilidade espacial de nutrientes e de ervas daninhas na vantagem da AP para trigo. Prepararam variogramas usando modelos esférico,

gaussiano, exponencial e linear, e concluíram que, em geral, o modelo esférico foi o que melhor representou os dados obtidos.

GOTWAY; FERGUSON; HERGERT (1996) afirmam que a acurácia dos mapas de recomendação depende do espaçamento da amostragem em campo, bem como do método de interpolação utilizado para a construção do mapa. Utilizaram *kriging* e inverso da distância (potências 1, 2 e 4) para avaliar a sensibilidade dos mapas ao método de interpolação e escala.

EVANS; HAN; RAWLINS (1995) afirmam que a conversão dos dados pontuais de amostragem em dados de grades para armazenamento numa base de dados num GIS é essencial para AP. A conversão é essencialmente um processo de interpolação bivariável para estimar dados em locais não amostrados, a partir de um conjunto de dados amostrados. Mesmo com a medição de dados *on-the-go* por sensores, o processo de interpolação ainda é necessário para suavizar os dados originais medidos.

MOTZ; SEARCY; NEUHAUS (1993) incorporaram diversos métodos para análise e tratamento de dados em seu programa de gerenciamento para AP, baseados em geoestatística, semi-variância e semi-variogramas. Segundo os autores, o problema da não-estacionaridade da média para os parâmetros investigados existe, porém muitas vezes é ignorado por não haver métodos para lidar com ele, e o *kriging* convencional é utilizado para a interpolação dos dados. Para contornar esse problema, afirmam que se pode identificar e quantificar a tendência (*trend*) subjacente dos dados, ou sua variabilidade não-randômica, e separá-la da verdadeira variabilidade randômica. Essa separação pode ser feita por métodos de *detrending*. Para contornar o problema dos conjuntos de dados não apresentarem uma distribuição gaussiana, o programa permite realizar transformação logarítmica no conjunto de dados brutos, de maneira a que o novo conjunto de dados passe a exibir uma distribuição mais gaussiana.

WENDROTH et al. (1992) utilizam funções de espaço de estados (*state-space*) para a interpolação de dados de produção com bons resultados, exceto para grandes variações de produção entre parcelas vizinhas. Ainda a respeito da análise de espaço de estados, SHUMWAY (1985) apud McBRATNEY; PRINGLE (1997), afirma que ela apresenta vantagens sobre outras técnicas como o *kriging*, pois a hipótese da

estacionaridade não é necessária, e dados faltantes podem ser estimados. Também segundo WEBSTER; OLIVER (1992) apud McBRATNEY; PRINGLE (1997), ela é computacionalmente mais rápida pois não requer inversão de matrizes, o que acontece no *kriging*. Dentre essas técnicas de espaços de estados, os filtros de Kalman podem vir a ser bastante úteis para a AP, segundo McBRATNEY; PRINGLE (1997), embora mais estudos sejam necessários.

GERHARDS; MORTENSEN; WYSE-PESTER (1996) utilizaram métodos de geoestatística e interpolação para analisar a variabilidade da população das plântulas de ervas daninhas, a partir de uma intensa amostragem de campo. Os mapas revelaram que a distribuição das plântulas era significativamente agregada para três das quatro espécies, sendo altamente consistente em local, área e diâmetro.

NOLIN; GUERTIN; WANG (1996) utilizaram variografia e *kriging* para estudar a variabilidade encontrada em solos aparentemente bastante homogêneos na área das Terras Baixas de Montreal e sua relação com a produção de milho, distribuição do solo e topografia. A variabilidade dos nutrientes e da produção de milho encontrada foi considerada suficientemente alta para justificar a AP.

Para muitos autores, um problema básico na AP é a definição da grade de células em que será dividido o talhão para se efetuar o gerenciamento da precisão. BERRY (1996) dá o nome de células da grade de análise - *analysis grid cells*, aparentemente para diferenciar esta grade daquela utilizada na amostragem de dados em campo. A discussão sobre os parâmetros que devem ser utilizados para definir a grade é bastante controversa e ainda não há um consenso a respeito. Evidentemente, essa falta de consenso reflete as discussões ainda candentes sobre a variabilidade espacial, sua importância e formas de lidar com ela do ponto de vista prático.

Muito pouco trabalho teórico tem sido feito na escolha do tamanho ótimo da célula, embora diversos tamanhos tenham sido propostos: 0.01 ha, por SADLER et al. (1996); 0,06 ha, por RUDOLPH; SEARCY (1994); 0,4 ha, 1 ha e 1,4 ha, por HAN et al. (1994); 0,01 a 0,25 ha, por GOERING; HAN (1993).

Um dos melhores trabalhos a esse respeito parece ser o de HAN et al. (1994). Os autores ponderam que, embora o objetivo seja ajustar os insumos às necessidades específicas de cada parte do talhão, essa variação das taxas de aplicação não precisa ser contínua. Se o talhão for dividido em regiões pequenas o suficiente para que nelas as propriedades do solo sejam uniformes, as taxas de aplicação dentro dessas regiões podem ser mantidas constantes. A essas regiões dá-se o nome de células da grade (*grid cells*). Embora a anisotropia do solo pudesse sugerir outros formatos que não o quadrado, tais formatos facilmente se desalinhariam com os padrões de caminhamento das máquinas no talhão. Por isso, células quadradas são utilizadas por simplicidade.

Segundo os autores, o limite superior do tamanho da célula é determinado pela variabilidade espacial das propriedades do solo, enquanto que considerações práticas limitam o tamanho inferior.

Do ponto de vista da variabilidade espacial das propriedades do solo, quanto maior a variabilidade, menor o tamanho ótimo da célula. Os autores, após um desenvolvimento teórico, sugerem que a distância de correlação média - MCD (*mean correlation distance*) é um bom indicador do limite superior do tamanho da célula.

Embora células menores e mais uniformes permitam que as taxas de aplicação acompanhem mais de perto a produtividade do solo, questões práticas governam o limite inferior das células. Entre elas, os autores citam:

- Como o sistema radicular das plantas se estende por ao menos 0,50 m, uma célula menor que 1m não teria maior benefício.
- A velocidade de resposta de controladores de aplicação automáticos: a taxa de aplicação do controlador deve mudar a cada vez que o aplicador entrar em nova célula, e enquanto a taxa estiver sendo mudada, haverá erro na taxa de aplicação. Para uma dada velocidade de resposta, o erro é mais relevante para maiores velocidades de deslocamento e para menores células.
- A largura das máquinas também pode determinar o limite inferior da largura das células. Por exemplo, não há vantagem em usar uma largura de célula menor que a

largura da barra de corte de uma colhedora, quando se estiver medindo a produção com monitores de colheita. Algo como 9,1m seria um valor mínimo, segundo dados das máquinas dos EUA.

- O erro apresentado pelo sistema GPS no posicionamento do aplicador também pode afetar o tamanho mínimo da célula. Quanto menor o tamanho da célula, maior a probabilidade de o GPS dar uma identificação errada da célula sobre a qual está. Portanto, dependendo da precisão do sistema utilizado, não faz sentido um tamanho de célula menor.

Nos diversos sistemas de informações propostos por EVANS; HAN; RAWLINS (1995), GOERING; HAN (1993) e também MOTZ; SEARCY; NEUHAUS (1993), os autores referem-se à necessidade de gerar arquivos de mapas de grade, ou definir a grade antes da entrada de dados no sistema.

Embora não discutam critérios para a seleção da grade, MOTZ; SEARCY; NEUHAUS (1993) afirmam que freqüentemente é interessante que haja um alinhamento particular entre a grade de análise (ou de gerenciamento) e os pontos amostrados em campo. Sob esse ponto de vista, sugerem que a grade pode ser alterada para se obter tal alinhamento. Os critérios para essa necessidade de alteração não são apresentados.

Essa discussão sobre a necessidade de uma grade de células para o manejo aparentemente tornou-se inócua mais recentemente, e deixou de ser uma preocupação dos pesquisadores. Essa divisão era um artifício para lidar com a grande quantidade de dados de campo; basear o processamento em células, em vez de tratar o solo como um meio contínuo, de certa forma refletia a realidade da amostragem e satisfazia um primeiro enfoque da variabilidade, ao mesmo tempo que facilitava os aspectos computacionais. Os pacotes GIS *raster* eram citados como os mais adequados para AP, em função dessa abordagem.

A maior capacidade de processamento dos computadores tornou viável trabalhar-se com GIS do tipo vetorial mesmo em computadores pessoais, o que habilita a consideração do solo, ou como unidades de manejo (não necessariamente retangulares), ou como um *continuum*, descrito por superfícies ou isolinhas.

BERRY (1996) apresenta uma série de questões pendentes nas várias operações relativas ao mapeamento, as quais ainda não conseguiram algum tipo de consenso na comunidade científica. Com relação à grade de análise aponta: critérios para a sua definição e para sua resolução, bem como eventuais efeitos de seu alinhamento com a direção de caminhamento. Com relação à redução de dados: critérios para a associação de um valor à célula; pela média, ponderado pelos vizinhos. Com relação à interpolação de dados, que método utilizar? Que fatores afetam o resultado? Como avaliar o resultado da interpolação? Como lidar com a dependência espacial (autocorrelação no mapa)? Que teste usar para identificá-la? Como reportar a qualidade dos dados interpolados?

De modo análogo, SEARCY (1995) aponta que ainda são necessárias técnicas padronizadas e validadas para a redução e a interpolação de dados. Vale salientar que um problema adicional é a comparação entre dados de origens diferentes, locais diferentes, ou períodos diferentes; para que uma comparação seja possível, muitas vezes é essencial que os dados tenham sido processados de maneira análoga, segundo os mesmos métodos, e que se tenham as informações sobre esses métodos e os parâmetros utilizados.

2.4.3 Análise das causas de variabilidade nos mapas

A partir da existência dos mapas de diversas variáveis de campo, deve-se procurar estabelecer relações entre os parâmetros mapeados, buscando identificar causas da variabilidade da produção que possam ser utilizadas como referência para a determinação de taxas de aplicação de insumos. Caso se adote o critério de manejo segundo regiões uniformes, deve-se também identificar essas regiões homogêneas em relação a esses parâmetros e relações. Segundo BERRY (1996), o processo é semelhante à análise de dados tradicional para obter funções de produção de culturas, exceto pelo fato de que são utilizadas variáveis mapeadas e que as relações obtidas podem variar espacialmente dentro do talhão.

COLVIN et al. (1996) estudaram a variabilidade da produção no talhão por seis anos e encontraram padrões de variabilidade diferentes a cada ano. Os coeficientes de variação oscilaram de 12% a mais de 30% conforme o ano, e apenas alguns poucos

pontos revelaram um padrão estável de produção ao longo do estudo. Sugerem que, eventualmente, um padrão estável apareça, porém após um tempo muito longo.

CLARKE et al. (1996) realizaram um trabalho com o objetivo de investigar formas de interpretar mapas de produção à luz das informações sobre variação espacial de solo e fatores culturais no talhão. O estudo envolveu a investigação das variações nos mapas de produção a cada safra e a identificação de parâmetros chave que pudessem ser medidos a fim de melhorar recomendações de manejo. Além de mapas de colheita disponíveis por dois ou três anos antes do início do projeto, foram amostrados e monitorados propriedades físicas e químicas do solo, desempenho da cultura, incidência de ervas daninhas, pragas e doenças. Análises iniciais indicaram que cerca de metade da variabilidade encontrada era atribuível a algum componente consistente entre as várias safras. Este padrão consistente está sendo analisado para identificar se fatores como diferenças no tipo de solo, aspecto e proximidade às bordas são responsáveis. Por outro lado, o corolário da afirmação anterior é de que metade da variabilidade é devida a efeitos efêmeros. Concluem os autores dizendo que dos dados coletados na primeira safra, não há correlação entre as variáveis medidas e a colheita em nenhum dos três locais estudados.

MALLARINO; HINZ; OYARZABAL (1996) afirmam que a interpretação das relações entre solo, planta e outras variáveis do local é importante para entender a variabilidade da produção, e que a análise multivariada (*multivariate analysis*) é uma ferramenta de análise poderosa que poderia ser utilizada para ajudar a interpretar essas relações e sua influência na produção. Os autores conduziram um estudo em que foram amostrados o solo (N, P, K, matéria orgânica, pH, e microtopografia) além de cobertura por resíduos, controle de ervas daninhas, altura do milho em duas datas, estande do milho, e a produção final. A análise de correlação simples mostrou que frequentemente as variáveis estavam altamente correlacionadas, embora as variáveis correlacionadas variassem de um talhão a outro. Algumas variáveis estavam relacionadas à produção, mas as variáveis envolvidas em relações significativas também variaram de um talhão a outro.

O estudo das relações de covariância entre as variáveis usando análise de fator (*factor analysis*) mostrou que algumas variáveis podiam ser agrupadas para sugerir alguns fatores comuns subjacentes. Diversas variáveis latentes podiam ser representadas por novas variáveis criadas pela combinação de algumas das variáveis mensuradas no local, conforme cada talhão. A fertilidade do solo, o controle de ervas e condições para um crescimento inicial da cultura foram algumas das variáveis latentes identificadas. A importância dessas variáveis latentes na explicação da variabilidade entre os talhões diferiu, todavia. A aplicação de análise de fator aos dados gerados pelas tecnologias de AP provou ser útil para descrever e entender as relações entre as variáveis locais mensuradas.

KARLEN; CAMBARDELLA; COLVIN (1996) amostraram o solo e analisaram diversas variáveis (pH, P, K, Ca, Mg, N total, C total) em cinco profundidades, em dois talhões adjacentes, e observaram que houve diferenças significativas nos resultados, o que atribuíram a práticas agrícolas (rotações de cultura, aplicação de composto, etc.), ao tipo de solo, e à interação desses dois fatores. Efetuaram análise de regressão e verificaram que alguns dos parâmetros medidos se correlacionavam com a produção, embora as correlações variassem de um talhão para o outro.

SKOTNIKOV; McGRATH (1996) partem do pressuposto da disponibilidade de dados espaciais de solos (composição), dos fertilizantes aplicados, e da produção ao longo de diversos anos. Afirmam que, entre as etapas para a recomendação de fertilizantes numa base ponto a ponto, algumas das operações sobre os dados amostrados são: para cada ponto considerado, localizar outros pontos semelhantes, isto é, fazer uma análise de grupo; a seguir, construir um modelo estatístico da dependência da produção em relação aos fertilizantes aplicados para cada ponto considerado, para, então, realizar a recomendação.

Os resultados obtidos por GERHARDS; MORTESEN; WYSE-PESTER (1996), no mapeamento de infestações de ervas daninhas, indicaram que os mapas da distribuição das plântulas podem ser utilizados na tomada de decisão em AP mesmo para anos após a amostragem do talhão, dada a pouca habilidade de três espécies de colonizar novas áreas além das mapeadas.

CLAY; BRIX-DAVIS (1996) realizaram um estudo para determinar a influência da presença de ervas daninhas na produção de milho, em áreas de potencial de produção alto, médio e baixo. Concluíram que, à medida que o potencial diminuía, o impacto da infestação por ervas daninhas na produção aumentava. Por exemplo, uma baixa infestação reduzia em 50% a produção em áreas de baixa produção e apenas reduzia em 10% a produção em áreas de alto potencial produtivo.

KHAKURAL; ROBERT; MULLA (1996) afirmam que o manejo de fertilizantes depende do conhecimento das fontes de variabilidade espacial na produção e que se acredita que muito dessa variação seja devida a características da paisagem e a propriedades do solo. Neste trabalho, os autores, inicialmente, mapearam a variação das propriedades do solo, das características da paisagem, e da produção de milho/soja, para, em seguida, estudar as relações entre essas variações. Analisando as relações entre produção e parâmetros do solo, concluíram que um grupo de variáveis (profundidade até CaCO_3 livre, P disponível, K disponível, elevação relativa e gradiente de declividade) explicavam 65% da variabilidade da produção em milho. Um outro grupo de variáveis respondia por 78% da variabilidade da produção em soja. De todos os parâmetros, a profundidade até o CaCO_3 livre era o principal limitante, respondendo por 38 e 46% da variabilidade em milho e soja, respectivamente.

Dois enfoques foram avaliados para a divisão do talhão em unidades de manejo: um, baseado nas diferentes classes de produção das culturas; outro, baseado na profundidade até CaCO_3 livre. O primeiro mostrou pequenas diferenças entre uma unidade de manejo e outra com relação a P e K. O segundo mostrou diferenças claras na fertilidade do solo entre as unidades de manejo e deve ser mais útil no gerenciamento de fertilizantes de forma localizada.

Para McCANN; PENNOCK; VAN KESSEL (1996), um dos maiores desafios para a pesquisa em AP é o delineamento de unidades de manejo. Para estudar o problema, os autores selecionaram dois locais que foram intensivamente amostrados em seus parâmetros de solo, e usando dados topográficos construiu-se seu modelo de elevação digital de terreno (DEM - *digital elevation model*), o qual serviu de base para dividir cada área em três unidades de manejo: topos, encostas, depressões. Essas

unidades foram, então, caracterizadas com relação às propriedades pedológicas amostradas.

A relação existente entre as unidades de manejo baseadas no DEM e as propriedades pedológicas sugere que aquela técnica pode ser usada para delinear as unidades de manejo. Todavia, isto só foi viável numa escala de pesquisa, mas não o seria numa escala de fazenda, de produção. A análise de imagens digitais derivadas de fotos aéreas é uma técnica que oferece um custo razoável para esse delineamento na escala da fazenda. Classificando tons de cinza em grupos que representam topo, encostas e depressões, mapas de grande escala foram produzidos numa escala de campo. A acurácia desses mapas indica que a análise de imagens de fotos aéreas branco-e-preto digitalizadas é uma ferramenta valiosa para o delineamento das unidades de manejo.

ROBERT et al. (1996), no primeiro ano de um experimento, amostraram características duráveis para cada célula, tais como profundidade do solo, textura, topografia, etc., e algumas características da cultura, como produção e seus os componentes. Com isso, caracterizaram a variabilidade no talhão e demarcaram áreas homogêneas em cada um dos dois talhões. Nos dois anos seguintes, aplicaram fertilizante nas células, que foram divididas ao meio, parte recebendo a aplicação clássica, parte recebendo a localizada. A partir dos dados coletados ao longo da safra e após a colheita, puderam comparar os processos que influem na produção nas duas formas de aplicação, o que permitiu identificar os parâmetros principais a serem levados em conta no manejo da fertilização.

EVERETT; PIERCE (1996) afirmam que, embora a AP seja uma solução potencial para o manejo de fertilizantes nitrogenados, conhece-se comparativamente pouco da co-variabilidade desses parâmetros numa escala de talhão, isto é, numa escala em que essa variabilidade possa ser gerenciada. Estudando a variabilidade espacial da produção de milho, o consumo de nitrogênio pela planta, o teor de N no solo e a fertilidade do solo num período de três anos em solos arenosos com alto potencial para a perda por lixiviação de N, os autores encontraram alta variabilidade dos parâmetros. No entanto, a dependência espacial variou muito de um ano para outro, e não foi detectada

dentro de nenhum *transect*⁶. Além disso, não encontraram correlação entre os parâmetros N do solo e produção, nem entre eles e os demais parâmetros. Segundo os autores, as estimativas para a perda de N por lixiviação variaram de 51 a 208 kg/ha.ano, o que evidencia que o problema existe, mas consideraram difícil o manejo de precisão de N devido à falta de estrutura espacial da produtividade de milho e do teor de N no solo, o que seria necessário para formular recomendações adequadas de mapas de aplicação.

Dificuldades semelhantes tiveram DAVIS et al. (1996) na tentativa de usar a variabilidade da produção para caracterizar espacialmente a resposta da cultura ao N aplicado. Seus estudos mostraram correlações pobres entre taxas ótimas de N e produtividade de grãos. Os resultados obtidos sugerem, segundo os autores, que os produtores terão dificuldades ao usarem mapas de colheita produzidos em solos bem fertilizados, para determinar áreas dentro dos talhões que tenham diferentes necessidades de N. Sugerem, também, a necessidade de ferramentas, além dos mapas de colheita que possam ser utilizadas para determinar essas áreas.

Embora a literatura seja mais farta em relatos de dificuldades de correlacionar variabilidade espacial da produção e dos fatores de produção, parece haver evidências de que, mais do que uma real inexistência de correlações, o que há é o uso de ferramentas e técnicas inadequadas.

NIELSEN et al. (1997) condenam o uso dos métodos estatísticos comumente empregados na análise da correlação entre parâmetros na AP, afirmando que tais métodos não levam em conta o caráter espacial das correlações. Afirma que a técnica de análise de espaço de estados representa uma abordagem mais apropriada e capaz de revelar as interações entre os parâmetros espacialmente. Resultados semelhantes foram obtidos pelos autores em WENDROTH et al. (1992).

LARSCHEID; BLACKMORE (1996) ponderam que, para permitir a comparação de mapas, é necessário que eles sejam produzidos segundo as mesmas técnicas de processamento e classificações. Argumentam que as técnicas a serem aplicadas para análise visual e para análise processada são diferentes, uma vez que para a

⁶ *Transect* - um corte ou seção transversal ou longitudinal do talhão para efeito de estudo por amostragem, por exemplo.

análise processada os dados devem se manter o mais acurados possível. Para uma análise visual de diversos mapas de diferentes culturas, pode-se determinar as áreas de altas e baixas produtividades, e os mapas podem ser representados na forma normalizada, pela diferença da média. A partir desses mapas, a sua combinação num mapa de tendência de produção, pela média, pode ser um ponto de partida para investigações sobre as razões das altas e baixas produtividades.

MOTZ; SEARCY; NEUHAUS (1993), em seu programa para gerenciamento de AP, incluíram diversas funções para combinação e transformação de camadas de dados, visando aumentar o valor dos dados disponíveis, gerando novas camadas. Entre essas funções, citam combinação linear, discretização de mapas contínuos, e operações booleanas. Entretanto, um dos autores em trabalho posterior, SEARCY (1995), afirma que ainda devem ser desenvolvidas técnicas para a combinação de múltiplas camadas de dados (múltiplos mapas), tanto correntes como históricos, para gerar camadas adicionais. Isto, certamente, evidencia a inadequação das técnicas atuais, ou a falta de consenso sobre as existentes.

BERRY (1996) apresenta uma série de questões pendentes nas várias operações relativas à análise dos mapas, as quais ainda não conseguiram algum tipo de consenso na comunidade científica. Com relação à obtenção de relações entre os mapas, que técnicas utilizar para testar sua existência: regressão, *cluster*, análise de variância? Como lidar com a autocorrelação entre mapas? Com relação à comparação entre mapas, quais testes de similaridade são apropriados? Como mapear a similaridade? Deve-se normalizar os dados antes da análise? Como relatar essas questões? Essa receita de análise e os resultados devem ser relatados ou são propriedade? Quão específicas são as relações obtidas? Podem ser transportadas para outras áreas, para outros anos? Com que considerações? Como avaliar a qualidade das relações obtidas?

2.4.3.1 Geração de mapas de aplicação e o uso de modelos

Uma característica comum das operações de análise e interpretação dos mapas e de geração de mapas de aplicação é que de ambas freqüentemente resultam mapas adicionais, que não representam diretamente variáveis de campo mensuradas. Esses mapas correspondem, por exemplo, a variáveis abstratas, como zonas de resposta

homogênea, resultado de combinações de diversos outros mapas; ou correspondem a variáveis projetadas ou estimadas, como produção estimada sob certas condições, perdas estimadas de nutrientes no solo, etc. Tais mapas são gerados como referências adicionais para auxílio na tomada de decisão, e diferem dos mapas das operações iniciais da etapa do gerenciamento, os quais representam diretamente variáveis mensuradas em campo, eventualmente corrigidas ou processadas, mas sem perder sua identidade com o parâmetro original.

A divisão adotada nessas duas operações tem algo de artificial e arbitrária, pois as técnicas utilizadas numa das etapas podem frequentemente ser as mesmas utilizadas na outra. Essa divisão tem o objetivo de tentar esclarecer os eventuais procedimentos necessários no tratamento dos dados, até que se chegue a alguma decisão de manejo de campo. Ela se prende mais aos resultados do que aos métodos; enquanto na análise procura-se identificar correlações entre os parâmetros, identificar causas da variabilidade, na geração de mapas de aplicação supostamente parte-se de algum mapa básico que reflita zonas com comportamento homogêneo, para em cima delas projetar cenários, produtividade, perdas, lucros, etc.

SKOTNIKOV; McGRATH (1996) propõem que, após a obtenção de um modelo estatístico da dependência da produção em relação aos insumos, obtenha-se um conjunto de fertilizantes ótimo a ser aplicado. Essas condições ótimas se referem à máxima produção, ao máximo lucro ou à mínima quantidade de fertilizantes para uma determinada lucratividade.

Segundo BERRY (1996), nesta etapa utilizam-se as relações encontradas anteriormente para prever a produção a partir de novos dados de solo, sem nenhuma ação de manejo sobre ele, o que o autor chama de mapa de predição. Esses novos dados de solo podem se referir a uma mudança no fator tempo (dados de solo coletados num próximo ano), ou a uma mudança no espaço (dados de solo de um talhão vizinho). A partir desse mapa de predição, técnicas de sistemas especialistas podem ser utilizadas para determinar os níveis apropriados de fertilização na forma de um mapa de prescrição, ou mapas de recomendação. Num nível mais alto, técnicas de otimização, como

programação linear ou modelamento genético, poderiam substituir os sistemas especialistas na geração do mapa de prescrição.

GOERING; HAN (1993) utilizaram modelos agronômicos (e os dados requeridos por aqueles modelos) para criar os mapas de aplicação de N, P, K, e calcário. Na determinação das taxas ótimas de aplicação, afirmam que a meta de produção é um fator importante, e que ela pode ser obtida de dados passados de produção, se estes mapas estiverem disponíveis. Como alternativa, usaram modelos agronômicos para estabelecer as metas de produção, baseada em tipo, declividade e condição de erosão do solo, e no nível de manejo. O resultado é um mapa de meta de produção. O usuário do sistema de informações desenvolvido pelos autores também deve fornecer dados de preços de fertilizantes e da cultura (projetado), entre outros. O mapa de N é baseado na quantidade necessária para repor o que for retirado pela cultura, enquanto os mapas de P e K consideram também as quantidades necessárias para elevar o teor no solo até níveis desejados, com base nos valores encontrados nas análises do solo.

MOTZ; SEARCY; NEUHAUS (1993), em seu sistema de informações para AP, não apresentam um método determinado para a obtenção dos mapas de aplicação. Restringem-se a apresentar a operação de discretização de um mapa previamente obtido, da qual resultará o mapa de aplicação, exportável em formato texto (DOS). A questão de como se chegar a esse mapa prévio não é tratada.

Já SKOTNIKOV; ROBERT (1996) propõem um sistema especialista para a interpretação de mapas de colheita. O sistema baseia-se na análise do mapa de colheita separado por classes de produção, buscando identificar parâmetros comuns que caracterizem cada classe. A comparação das diversas classes e de seus parâmetros característicos pode ajudar nas ações de manejo.

Nesta etapa do gerenciamento, diversos autores têm utilizado modelos de simulação para, a partir dos mapas das variáveis disponíveis, obter mapas de variáveis simuladas como produção e perdas no solo. Embora esses modelos sejam, em geral, unidimensionais, sua interligação com os pacotes GIS permite a obtenção dos mapas das variáveis simuladas.

GOERING; HAN (1993) apontam a necessidade de se incluírem modelos de simulação de crescimento de culturas e modelos de probabilidade de clima, para dar suporte à geração de mapas de aplicação.

Tendo em vista a necessidade de se prever a produção como base para se prescrever aplicação de insumos, AMBUEL; COLVIN; KARLEN (1994) desenvolveram um simulador de produção utilizando lógica nebulosa (*fuzzy logic*). Dois modelos de sistema especialista foram desenvolvidos: um deles, baseado em características físicas e químicas do solo medidas, associadas com dados meteorológicos locais; o outro, com as propriedades do solo estimadas ao invés de medidas. As produções previstas relativamente concordaram com as medidas, e, embora o sistema precise de significativas alterações, os autores consideram que há boas perspectivas para novas pesquisas.

CAHN; HUMMEL; SIMPSON (1996) afirmam que as simulações computacionais são uma alternativa barata para experimentos de campo, e também uma ferramenta poderosa para investigar benefícios agronômicos da AP. Usando os métodos de Monte Carlo, pode-se simular experimentos de campo em milhares de locais, ou num local por vários anos. As simulações podem fornecer um amplo entendimento dos fatores importantes para a AP, podem ajudar no desenvolvimento de hipóteses consistentes e procedimentos experimentais para avaliar a tecnologia no campo, assim como identificar condições e ambientes nos quais a AP seria superior às práticas convencionais.

Modelos para avaliar a dispersão de ervas daninhas foram citados por PAICE; DAY (1996). Por sua vez, HAN; EVANS (1994), e HAN et al. (1995) utilizam modelos de crescimento de culturas, além de modelo de aplicação de água por pivô central, para determinar necessidades de manejo e o potencial de lixiviação de nitrogênio.

A utilidade de modelos na tomada de decisões na agricultura em geral, e especialmente na AP, tem sido bastante enfatizada por diversos autores. Todavia, SEARCY (1995) afirma que poucos modelos de crescimento de plantas são diretamente aplicáveis ao gerenciamento simultâneo das múltiplas condições de crescimento esperadas na AP. A maior parte dos modelos é unidimensional, e prevê o desenvolvimento de uma planta sob um conjunto dado de condições de solo e umidade. Com relação aos modelos hidrológicos, afirma que se preocupam com fenômenos de

transporte de água e nutrientes no solo e acima do solo, mas não tanto com a precisão das predições das colheitas. Segundo o autor, múltiplas simulações num talhão em condições cambiantes necessitam uma capacidade computacional irrealista. Portanto, modelos mais aperfeiçoados são necessários para simular o crescimento de plantas e os fenômenos hidrológicos, levando em conta a variabilidade espacial de certos parâmetros.

COLVIN et al. (1996) afirmam que uma grande classe de informação que ainda falta é a dos métodos para determinar quanto material aplicar e que ação tomar, como resultado de uma certa condição numa posição dentro de um talhão. Para prover tal informação, a variabilidade da produção dentro dos talhões e suas causas terão que ser melhor entendidas.

BERRY (1996) apresenta uma série de questões pendentes também nas várias operações relativas à geração da recomendação. Com relação à obtenção dos mapas de predição, pode-se utilizar relações não espaciais obtidas, como é o caso das expressões existentes de função de produção? Como levar em conta condições locais? Que modelos são mais adequados: físicos, estatísticos, baseados em conhecimento? Com relação à obtenção dos mapas de prescrição, a tecnologia de sistemas especialistas é suficiente ou outras técnicas como programação linear poderiam ser utilizadas para gerar tabelas de dados para aplicação em campo?

Como decorrência da obtenção de um mapa de recomendação de aplicação de insumos, ou mapa de prescrição, é necessário transferi-lo para o equipamento de controle de aplicação que vai a campo. Esta operação não deveria exigir maior preocupação por parte da pessoa encarregada dessa tarefa, fossem os controladores padronizados em relação a interfaces de transferência de arquivos, pelo menos.

Todavia, esse não é o caso, e a geração de um arquivo de controle de aplicação é uma tarefa que demanda o conhecimento razoável do equipamento, não só em relação ao meio de transferência, mas também a forma de controle, suas características técnicas, como o tempo atraso entre a mudança lógica da taxa de aplicação e a efetiva alteração da taxa de aplicação, entre outros. A desconsideração desses problemas pode jogar por terra boa parte da suposta "precisão" que se atribui à AP.

2.4.4 Comentários finais sobre o Gerenciamento

De uma maneira resumida, as operações básicas realizadas na etapa de gerenciamento da informação envolvem: a correção de erros nos dados de campo; algum tipo de processamento dos dados visando a quantificação e a análise da variabilidade dentro dos mapas e a uniformização da cobertura dos dados por sobre todo o talhão; a análise cruzada da variabilidade entre os mapas, visando identificar correlações, particularmente com a variabilidade na produtividade, e a definição de mapas-base que reflitam áreas de comportamento homogêneo; a geração de cenários com base em previsões, estimativas e modelos, culminando com a obtenção de mapas de recomendação de aplicação de insumos.

São inúmeras as questões que têm sido levantadas a respeito dessas operações, e a ausência de resultados efetivos é o que transparece em todas as pesquisas. O que se tem conseguido encontrar foram indícios e fortes evidências de correlações, mas em nenhum momento a fonte da variabilidade foi identificada de maneira cabal e definitiva. Por essa razão, esta etapa é considerada a menos desenvolvida dentro de todo o ciclo da AP.

Essas questões, longe de implicarem a inviabilidade da AP, refletem tanto a juventude dessa tecnologia, como a sua grande complexidade, que se expressa na multiplicidade de parâmetros, de dados e de técnicas utilizados no gerenciamento.

Por outro lado, é forçoso reconhecer que em todas as operações apresentadas nos itens anteriores falta uma desejável padronização e um mínimo consenso sobre as técnicas mais adequadas aplicáveis a cada uma delas. Falta também o consenso sobre critérios para avaliação do desempenho das técnicas utilizadas, quantificando a sua adequação. Muito provavelmente, a especificidade espacial das relações que estão sendo procuradas é um complicador adicional nas tentativas de comparação entre diversos locais e na avaliação dos resultados. Isto sem falar da interferência temporal nos dados. São questões, também, a forma de apresentação desses índices e mesmo a propriedade dos dados obtidos.

De todas as etapas, esta é a mais computacionalmente intensiva. Por trás de todas as operações mencionadas, inúmeros pacotes de software, comerciais ou desenvolvidos especificamente para fins de pesquisa, são ferramentas absolutamente necessárias. A AP não pode absolutamente prescindir de um forte apoio computacional para o armazenamento, a manipulação e a análise da grande quantidade de dados que ela pressupõe.

Numa primeira fase da AP, tanto os pesquisadores ocupados com aspectos parciais do problema como os produtores pioneiros (que não deixaram de ser pesquisadores), tiveram que se basear no uso de pacotes individuais isolados. Eles tiveram que suplantar as dificuldades com a preparação de dados para cada pacote, com a conversão de formatos, com a seleção de parâmetros, realizando manualmente essas funções muitas vezes tediosas e sujeitas a erros. Com a rápida expansão da AP, que vem ocorrendo a despeito de todas as dúvidas e incertezas e ausência de resultados concretos, um consenso parece emergir com relação à necessidade de integração dos diversos pacotes e sistemas utilizados no gerenciamento. O objetivo não é outro senão colocar a tecnologia no seu papel de ferramenta, por mais fundamental que seja, deixando o centro da questão para a tomada de decisão baseada nos parâmetros da agricultura.

No capítulo 3 aborda-se justamente essa questão dos sistemas de informações de apoio à agricultura de precisão, seu estado e suas tendências.

2.5 A Etapa da Aplicação Localizada de Insumos

Embora a obtenção de mapas com os dados coletados possa ser interessante para revelar a variabilidade, a meta final é, sem dúvida, poder fazer o controle das operações de campo baseado naqueles mapas. Isto implica em terem-se equipamentos que permitam variar as dosagens de aplicação ao longo do talhão, automaticamente, com base em algum tipo de recomendação prévia relacionada à posição em campo.

Essa tecnologia tem sido chamada de aplicação localizada de insumos (BALASTREIRE, 1994), ou aplicação em taxa variável, do inglês *variable rate application* e *variable rate technology* - *VRT*. Dentro de todo o processo da AP, no

momento, esta etapa também está relativamente avançada, impulsionada que tem sido pelo setor privado, principalmente nos EUA. Isto pôde ser verificado recentemente em congresso/exibição realizada nos EUA, a 3rd International Conference on Precision Agriculture, em Minneapolis, e de acordo com o que afirmam CLARKE; McGUCKIN (1996a).

SCHUELLER (1992) apresenta um interessante revisão dos avanços e do histórico dessa tecnologia. Segundo o autor, possivelmente no final dos anos 70 e certamente já no início dos 80, vários tipos de equipamentos para aplicação em taxa variável eram advogados pelos pesquisadores em universidades e empresas, seguindo discussões a respeito dos rápidos avanços da eletrônica. O autor apresenta uma análise das pesquisas e equipamentos categorizadas pelo tipo de operação de campo, e cita, entre as operações que podem se beneficiar das técnicas de controle espacialmente variável, a aplicação de fertilizante, de pesticidas, a semeadura, a irrigação, o preparo do solo e o nivelamento do solo.

Em qualquer dessas operações o sistema de controle deverá saber a posição em que se encontra no talhão a cada instante, graças a algum sistema de posicionamento, para então determinar o ponto de operação (*set point*) de controle a partir do mapa de controle, e atingir o *set point* rapidamente. O sistema de controle e o procedimento deverão ser semelhantes para as diversas operações, com algum tipo de controle elétrico atuando nos componentes hidráulicos e/ou mecânicos da máquina.

Alguns outros textos, como os de CLARKE; McGUCKIN (1996a) e (1996b), e os de UGA (1996a) e (1996b) também apresentam revisões preciosas do estado da arte na pesquisa e da disponibilidade de equipamentos no mercado. No levantamento apresentado, foram identificadas 13 empresas que comercializam equipamentos para aplicação localizada. Entre os equipamentos disponíveis incluem-se aqueles para aplicação de herbicidas, de fertilizantes secos e líquidos, de calcário, de pesticidas em geral e sementes. São utilizadas diversas tecnologias, configurações, e encontram-se sistemas conjugados com outros sistemas e equipamentos, ou sistemas independentes.

A seguir apresenta-se uma breve revisão de trabalhos encontrados relacionados ao desenvolvimento de equipamentos para aplicação localizada de insumos.

2.5.1 Aplicação de fertilizantes

Segundo SCHUELLER (1992), a operação de maior interesse em Pesquisa e Desenvolvimento é a da aplicação de fertilizantes, justificada pelo alto consumo de fertilizante nos EUA (vide item 2.2). O primeiro distribuidor de fertilizante computadorizado comercial foi patenteado em 1986; o escopo da patente é tão amplo, que praticamente requer o privilégio sobre qualquer aplicação baseada em mapas digitais. O sistema, denominado Soilection, possui tipicamente 6 tanques de produtos, 2 de micronutrientes, 4 de herbicidas, um sistema de impregnação e um sistema de guiamento opcional. A tecnologia foi inicialmente lançada como parte de um sistema de aplicação de fertilizante seco, e permitia não só taxa variável como a aplicação de diferentes misturas. Outras configurações mais simples permitiam apenas taxa variável de aplicação, sem mistura de produtos. Uma memória PROM continha os dados dos pontos de operação (*setpoints*) de controle, na forma de um mapa de uma milha quadrada.

Posteriormente, um equipamento para aplicação de fertilizante líquido foi lançado, segundo SCHUELLER; WANG (1994), o qual possui dois tanques que formam dois sistemas independentes. Além disso, em cada ponto de pulverização na barra, há três bicos que podem ser individualmente ligados ou desligados. Se os bicos forem selecionados numa razão 1:2:4, o fluxo numa dada pressão pode ser variado de 0 a 7 vezes o menor fluxo no bico. Os mapas com a recomendação de aplicação estão armazenados em EPROM ou em disquetes. O sistema leva em conta a dinâmica do equipamento aplicador, com uma espécie de controle *feedforward*: baseado na posição e na velocidade atuais, e levando em conta um atraso de transporte puro, a posição futura é prevista e a mistura e taxa de fertilizantes adequada é comandada.

NEUHAUS; SEARCY (1993) desenvolveram um sistema para aplicação de fertilizante e semente a partir de equipamento de mercado adaptados, mas não conseguiram uma acurácia razoável para o controle de fertilização.

THOMPSON; McGRATH (1996) avaliaram o impacto do uso de múltiplos depósitos na precisão da aplicação de fertilizante seco, e concluíram que o uso de dois depósitos com fórmulas com os três nutrientes (N-P-K) possibilita alta precisão da dose

de aplicação para dois dos três nutrientes, e permite melhorar muito a precisão para o terceiro.

ESS; JOERN; HAWKINS (1996) realizaram estudos e testes preliminares para o desenvolvimento de um protótipo de um sistema para aplicação localizada de esterco líquido de suínos. Basearam-se num distribuidor de esterco líquido comercial, acoplado a um *notebook* para a medição dinâmica do peso do depósito com células de carga. Um sistema de controle eletrohidráulico foi interligado a um receptor GPS para permitir controle automático da saída baseado em mapas.

ROBERTSON et al. (1991) apud UGA (1996a), utilizaram um PC 286, adicionado de interfaces, câmara de expansão, medidor de fluxo, válvula de controle e um medidor de velocidade para testar a aplicação de amônia anidra em taxa variável. Verificaram que o retorno econômico foi maior para as áreas que receberam aplicação em taxa variável, em comparação ao método convencional, e concluíram que o sistema era viável para uso em campo, embora fosse mais adequado dispor-se de um sistema dedicado de menores dimensões.

REICHENBERGER (1990) apud UGA (1996a), descreveu um sistema desenvolvido pela South Dakota State University para fazer aplicação localizada com o uso de um distribuidor de fertilizante. O sistema envolve o uso de um *notebook* e uma quinta roda para determinar a posição no talhão. Um mapa de taxa de aplicação armazenado no computador é utilizado para controlar a taxa da aplicação junto com a informação da quinta roda.

OLIESLAGERS; RAMON; DeBARDERMAEKER (1996) descrevem o projeto de um distribuidor centrífugo para aplicação localizada. Os distribuidores centrífugos convencionais representam 80% do mercado europeu pelo seu baixo custo, fácil manutenção e largura de trabalho ampla. A principal desvantagem da máquina é a grande sensibilidade do padrão de distribuição à variação da taxa de aplicação. Como esta variação é a característica básica para AP, foi desenvolvido um modelo de simulação para o auxílio ao projeto de um distribuidor. No protótipo, a altura do disco ou a velocidade angular do disco têm que ser mudadas junto com a posição de alimentação do fluxo de fertilizante para uma mudança da taxa de aplicação. O protótipo modelado

apresenta um alto desempenho para taxas de uma a seis vezes a taxa mínima, mas ainda será implementado e testado.

2.5.2 Aplicação de pesticidas

A segunda área de maior interesse, em se tratando da aplicação localizada, é a de aplicação de pesticidas, segundo SCHUELLER (1992), tanto pelo aspecto econômico como pelo ambiental, apoiada nos dados apresentados no item 2.2.

Alguns dos problemas relacionados à aplicação de pesticidas são semelhantes aos encontrados na aplicação de fertilizantes, como a consideração da dinâmica do aplicador. Uma preocupação que lhe é particular é a da variação do tamanho das gotas e do padrão de pulverização. Esta situação parece ocorrer em vários estudos em que se utilizaram sistemas de concentração constante, nos quais variou-se o fluxo de líquido para modular a aplicação. Uma alternativa para o problema parece ser a adoção de diversos bicos em cada ponto, a exemplo do que foi citado para aplicação de fertilizantes. Na aplicação a fluxo constante, o problema do atraso transversal é que passa a existir.

Um complicante adicional é que mesmo os sistemas tradicionais a taxa constante ainda não são acurados: estudos revelaram que apenas entre 25 e 30% dos sistemas de aplicação estão dentro de uma faixa de 5% da taxa pretendida. Os problemas de aplicação decorrentes gerariam perdas de cerca de US\$ 1 bilhão anualmente, segundo o autor.

RUDOLPH; SEARCY (1994) apresentam um sistema de injeção de produtos químicos, montado a partir de equipamentos de mercado, com a capacidade para ter as taxas de aplicação variadas sob o comando de um computador. O sistema utilizou um receptor GPS para posicionamento e foi testado em campo para a aplicação de herbicida, com bom desempenho. Todavia, o problema do atraso na variação da taxa de aplicação foi o principal problema, e para sua diminuição os autores sugerem estratégias de projeto de hardware e software.

GILES; HENDERSON; FUNK (1996) utilizaram modulação por largura de pulsos - PWM, de cada válvula solenóide acoplada a bicos pulverizadores convencionais, para controlar a taxa de fluxo do líquido. Conseguiu com isso controle independente do

tamanho da gota e da taxa de aplicação. O primeiro foi controlado pelo ajuste da pressão do líquido, enquanto a taxa foi controlada pelo ciclo de trabalho (*duty cycle*) de atuação da válvula. O sistema foi utilizado em aplicação localizada, interfaceando com um receptor GPS. As taxas de aplicação e tamanho de gota puderam ser mantidas mesmo com a variação de velocidade, além disso permitiram mitigar o potencial de deriva do produto pela alteração do tamanho da gota, em regiões reconhecidamente susceptíveis ao problema. Comparada a sistemas convencionais de controle de taxa baseados em pressão, a técnica PWM permitiu mais rápida resposta à mudança de taxa, maior faixa de variação e menos efeitos no tamanho das gotas.

Segundo LANDERS (1992), havia na Europa, já na ocasião, quatro sistemas comerciais e seis outros em desenvolvimento, para aplicação de pesticidas com injeção direta, os quais permitiam a variação da taxa de aplicação.

Segundo CLARKE; McGUICKIN (1996a), o uso de injeção direta apresenta diversas vantagens em relação à mistura no tanque, como segurança, manipulação de produtos misturados e maiores possibilidades de automação, e é a tendência da tecnologia de pulverizadores.

FELTON (1991), FELTON; McCLOY (1992) e THOMPSON et al. (1991), apud UGA (1996a), abordam a aplicação seletiva de herbicidas, com base em informações de sensores. O método tem sido chamado de *spot spraying* e possibilita grande redução da área e da quantidade aplicada.

2.5.3 Semeadura

A aplicação localizada de sementes encontra três aplicações principais, segundo SCHUELLER (1992): a variação da população de plantas pela variação do espaçamento, a mudança da profundidade de plantio de acordo com a umidade do solo e seu tipo, e a mudança da variedade semeada pela alternância dos depósitos de sementes.

ANDERSON; SMETTE (1994) testaram uma semeadora pneumática de mercado, a Concord, automatizada para montar uma semeadora de taxa variável que pudesse responder a mapas de plantio. O sistema possui um *notebook*, que serve de interface para o operador e que mantém a base de dados com a programação prévia de

taxas de semeadura e adubação; um sistema microcontrolado, que controla o fluxo de material, e que se conecta ao PC por uma interface serial; um receptor GPS, também ligado ao *notebook*. Os autores sugeriam a necessidade de pesquisas em atuadores lineares de alta velocidade para a abertura das válvulas de controle de fluxo de material, e estavam trabalhando em nova versão do software do PC, para melhorá-lo do ponto de vista da conexão a outros pacotes de software de mapeamento de mercado, e da sua interface com o receptor GPS.

ANDERSON (1995) apud UGA (1996a), apresenta um outro sistema comercial, o TerraNova VRSTM, que melhora o sistema anteriormente apresentado com o uso da tecnologia Soilection. A arquitetura é semelhante: um *notebook* (rodando em DOS) comunica-se com um receptor GPS (DGPS), e também com um controlador de taxa de aplicação. Os mapas de aplicação são gerados com um formato proprietário (Concord Map Format - CMP) e armazenados no PC. Os controladores de taxa de aplicação são também comerciais, tendo sido utilizados os das empresas Raven e Micro-Trak.

Confirmando a preocupação levantada anteriormente por ANDERSON, SMETTE (1994), BAHRI et al. (1996) e BASHFORD et al. (1996) apresentam dois trabalhos em que são realizados estudos sobre a variabilidade inerente dos sistemas de dosagem de sementes. Os erros de aplicação dependem do desempenho do sistema de dosagem, isto é, da sua acurácia e capacidade de ajuste, e da magnitude das transições entre duas células consecutivas. Propõem um índice para a quantificação dessa variabilidade, e realizam testes para medir a precisão no controle, e o tempo de transição de um sistema de controle de taxa de semeadura. Os resultados evidenciaram que essa é uma área que merece mais atenção e estudos e pode comprometer a precisão dos sistemas de aplicação localizada

2.5.4 Irrigação

Os sistemas de irrigação são outra importante área de desenvolvimento da AP. A necessidade de variar a taxa de irrigação para adequá-la a variações do tipo de solo, da umidade natural ou prévia do terreno, e para variar a adubação através da prática da fertirrigação, são campos de pesquisa que têm sido bastante explorados.

SADLER et al. (1996) reportam que observações realizadas sugerem que as relações planta - água podem ser a chave para a variabilidade espacial na produtividade em certa região dos EUA. Em anos normais em termos de clima, a produção final é particularmente sensível a variações na água do solo, presumivelmente porque o solo da superfície é arenoso e o volume de raízes é um limite. Estas conclusões, mais as dificuldades na programação da irrigação sob pivô-central em áreas de solos tipicamente variáveis, levaram a projetar e construir um pivô central para aplicação localizada, capaz de diferenciar a irrigação para áreas de 100 m². O pivô foi dividido em treze seções individuais, cada qual com três conjuntos de aspersores independentes, os quais foram dimensionados para operarem em relação 1:2:4, de forma que combinações octais pudessem fornecer até sete vezes a mínima lâmina d'água para uma dada velocidade da torre mais externa. Um controlador programável foi colocado para controlar cada um dos três conjuntos de aspersores de cada uma das treze seções, segundo um programa prévio, e baseando-se na posição e em outras informações recebidas via um enlace de rádio com o painel de controle do pivô. O sistema foi inicialmente utilizado para aplicação de água e fertilização de nitrogênio, e será adaptado para ser acoplado a um outro pivô para aplicação localizada de água, nutrientes e pesticidas.

EVANS; HAN (1994), HAN; EVANS (1994), HAN et al. (1995) realizaram diversos trabalhos integrando várias ferramentas como modelos de distribuição de água em pivô central, GIS, modelos de crescimento de certas culturas como batata e milho. O sistema integrado foi utilizado para estimar as perdas por lixiviação de nitrogênio, e para identificar necessidades de gerenciamento localizado em áreas individuais irrigadas com pivô central.

WALL; KING; McCANN (1996) descrevem o desenvolvimento de um sistema de controle de irrigação para pivô central microprocessado, que utiliza uma rede baseada na transmissão de sinais na linha de alimentação (*power line carrier networking technology*). O sistema coleta dados de sensores colocados estrategicamente e realiza o controle para aplicação variável de água em duas dimensões. Os testes de campo mostraram que a tecnologia é altamente imune a ruído, bastante tolerante à diversidade de configurações de rede elétrica, e tem custo compatível para a sua adaptação aos sistemas de pivô existentes. A aplicação de água é baseada em mapas carregados no

sistema, e pode ser modificada para acomodar informações atualizadas dos sensores. Os nós da rede podem ser colocados em qualquer local no pivô central, desde que sejam interligados à rede de alimentação do pivô, que lhe serve de meio de transmissão para a coleta de dados e controle. A capacidade de cada nó é atualmente de 14 saídas 24 VDC, uma entrada analógica e uma saída analógica.

Analogamente, KING et al. (1996) equiparam um pivô central com um sistema de controle que permite a variação da quantidade de água aplicada ao longo do braço do pivô, permitindo, assim, um controle bidimensional da aplicação. O sistema foi utilizado para aplicação de água e nitrogênio de acordo com mapas de aplicação baseados em amostragem de solos e sensoriamento remoto. Os resultados mostraram que a aplicação obteve a mesma precisão dos sistemas uniformes convencionais.

BUCHLEITER; DUKE; HEERMAN (1996) reportam o desenvolvimento de um sistema de controle para aplicação de água e produtos químicos em sistemas de irrigação autopropelidos. O sistema linear original foi modificado e a ele foi adaptado um controlador programável auxiliar, que controla o suprimento de água ou produtos químicos para os aspersores individuais. A escolha do programa de irrigação a ser executado pode ser feita a distância, por um enlace de rádio com um computador central que possui interface gráfica.

2.5.6 Comentários finais sobre a aplicação localizada de insumos

São muitas as referências encontradas a respeito da aplicação localizada, abordando tanto equipamentos experimentais como comerciais, adaptados ou não. Em muitas referências os resultados são satisfatórios, embora diversos problemas relacionados à acurácia e à capacidade de ajuste dinâmico da taxa de aplicação ainda persistam. As aplicações cobrem as diversas operações agrícolas, e muitos sistemas comerciais podem ser encontrados no mercado norte-americano.

Muitos desses equipamentos sofrerão grandes transformações nos próximos anos, função da evolução que a área como um todo está apresentando. Entre essas alterações espera-se que a questão da padronização das interfaces evolua, como consequência dos esforços das próprias empresas, lideradas pela *Agricultural*

*Electronics Association - A*E*A* e pela *International Organization for Standardization - ISO*, para solucionar os problemas de incompatibilidade, que penaliza não só o usuário mas também os fornecedores.

De qualquer modo, como já se afirmou anteriormente, a tecnologia existente já permite a prática de campo da aplicação localizada, e possibilita um avanço em relação às práticas convencionais.

Boa parte dos equipamentos existentes é para uso restrito a grãos, mas já há outros para culturas como tubérculos. Culturas de interesse mais regional, como a cana-de-açúcar, também deverão despertar o interesse das empresas de máquinas agrícolas mundiais, mas em boa parte o desenvolvimento de equipamentos específicos ficarão a cargo dos países em que são cultivadas em maior escala; no caso da cana, Brasil, Austrália e África do Sul.

2.6 Avaliação

A avaliação, embora colocada como etapa à parte, na verdade não está dissociada das demais. Antes, dilui-se entre as três outras, na medida em que todo o processo está em constante avaliação. Como consequência desse processo de constante avaliação técnica e econômica (aspectos ambientais incluídos em ambas), o processo da AP como um todo tende a sofrer aprimoramentos a cada ciclo. Eventualmente, isso será decorrência de uma evolução global da tecnologia, mas provavelmente terá uma forte componente local, específica da propriedade e do produtor. Ao longo do texto, pôde-se colocar diversos pontos de questionamento dessa tecnologia.

Na coleta de dados, a acurácia e a oportunidade dos dados, seus custos de obtenção, sua efetiva necessidade, a quantidade de dados necessária, constituem pontos de discussão, portanto de avaliação.

De modo análogo, os métodos de análise, sua adequação, seus erros, sua padronização (ou a falta de), sua aplicabilidade a diferentes lugares e momentos, são algumas das questões que levam à avaliação da AP. A complexidade das análises, e a necessidade de sistemas computacionais e seus custos, são outros pontos de discussão.

Finalmente, na aplicação de insumos são questões importantes, a acurácia dos sistemas de aplicação e, principalmente, sua eficácia.

É neste ponto que certamente concentram-se as críticas à tecnologia. Até que ponto se conseguirá atingir as metas, ditas de precisão, sejam elas quais forem? Até que ponto o manejo prescrito resultará efetivamente num almejado aumento da lucratividade, numa menor poluição, numa maior produtividade? Quão adequados estarão os métodos de aquisição de dados, de análise e de recomendação? A avaliação global da tecnologia, numa escala de longo prazo, é que poderá dizer dos benefícios econômicos e ambientais.

Apesar da intuitiva justificativa econômica e ambiental para a AP, a prática tem mostrado difícil a comprovação da intuição. Como afirma SEARCY (1995), faltam dados que comprovem e não foram desenvolvidos métodos para avaliar os resultados da AP.

Parte dessa polêmica talvez não se justifique, na medida em que qualquer tecnologia apresentou problemas em seus primórdios. Tanto os aspectos técnicos como econômicos das grandes conquistas da humanidade foram fortemente discutidos, até que a tecnologia por fim se firmasse.

De toda forma, é benéfica e necessária, e faz parte do próprio processo de amadurecimento da tecnologia, essa discussão acerca de seus reais benefícios, dos métodos, dos parâmetros e da forma de mensurá-los.

Em UNIVERSITY OF MISSOURI (1995) encontramos referências a parâmetros para avaliação da AP. São citados: padrões de produção de longo termo, mudanças na disponibilidade de nutrientes, benefícios econômicos, benefícios ambientais, estresse nas culturas.

LEIVA; MORRIS; BLACKMORE (1997) abordam um método para avaliar o uso de AP, nas condições do Reino Unido. Segundo os autores, a amortização do custo extra dos equipamentos só acontece para propriedades acima de 400ha. Os baixos custos atuais de fertilizantes não justificariam a economia dos insumos, mas o mesmo não acontece com relação a herbicidas. Todavia, os benefícios ambientais diretos viriam dessas diminuições de uso de insumos.

Embora diversos trabalhos, como LU; WATKINS (1997), e WEISS (1997), apresentem estudos simulando os possíveis efeitos econômicos e ambientais da AP, com variadas conclusões, são os resultados do produtor que interessam e que irão motivar sua mais rápida ou mais lenta adoção. Todavia, um problema que parece emergir é que os benefícios da AP são difíceis de medir (LOWENBERG-DeBOER; BOEHLJE, 1996); dados de curto prazo e parciais podem não revelar o resultado real.

2.7 Considerações finais sobre a Agricultura de Precisão

A agricultura de precisão vive atualmente um momento de intensa atividade na pesquisa e na indústria, enquanto sua taxa de adoção é ainda modesta, mesmo nos EUA.

Potencialmente, apresenta perspectivas muito promissoras, e os equipamentos disponíveis para as diversas etapas de campo mostram sua exequibilidade do ponto de vista da tecnologia-meio, a eletrônica e a computação.

Em muitos casos, a limitação da adoção da tecnologia pode estar no fato de que práticas tecnológicas anteriores, básicas para a adoção da AP, não estão ainda assimiladas pelos produtores, que não as usam rotineiramente. É o caso de análise de solo, de levantamento de pestes e pragas em campo. As taxas de adoção dessas práticas são baixas, mesmo nos EUA, segundo DABERKOW (1997); o que dizer, então, no caso do Brasil?.

No nosso país, a disparidade do nível tecnológico da produção é bastante acentuada. Apesar disso já se justifica a adoção da AP nas culturas e regiões mais tecnificadas, mais mecanizadas, mais expostas à competição com os mercados externos ou mais sujeitas a causar danos ambientais.

Entretanto, são ainda bastante isolados os esforços de pesquisa na área e sua adoção em campo é bastante limitada. O pioneiro na pesquisa em equipamentos para AP foi L.A. Balastreire, da Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", que já em 1992 realizava pesquisas junto à Texas A&M University. A partir desse trabalho, iniciou-se uma linha de pesquisa na Universidade, e a formação do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Automação Agrícola da USP, ocorrida a seguir, e

CAPÍTULO 3

SISTEMAS DE INFORMAÇÕES PARA A ETAPA DO GERENCIAMENTO

envolvendo a ESALQ e a Escola Politécnica, veio consolidar a cooperação entre dois grupos de pesquisa afins.

Como são básicos para a AP a aquisição de dados e a disponibilidade de equipamentos para essa aquisição já têm sido realizados trabalhos de coleta de dados visando a obtenção de um equipamento de medição de colheita baseada em peso, o que poderá torná-lo adequado não só para grãos mas também para outras culturas. O equipamento foi testado em campo e já foram obtidos mapas de colheita de milho (BALASTREIRE, 1998).

Esse panorama evidencia que a AP ainda tem um longo caminho a percorrer, tanto no Brasil como no exterior, até tornar-se tão comum como a mecanização, o que deverá ocorrer, à medida que os custos da tecnologia decresçam, e a tecnologia em si amadureça.

Em relação a esse amadurecimento, dois grandes gargalos altamente relacionados persistem. De um lado, não há conhecimento agrônomo, técnicas, métodos de análise, métodos de recomendação que consigam considerar simultaneamente a grande quantidade de fatores proposta, ao mesmo tempo em que a nova escala de análise aponta para uma variabilidade sem precedentes. Não há, também, no aparato computacional disponível, ferramentas de suporte ao desenvolvimento desse conhecimento, que facilitem, como seria desejável, a manipulação de todos esses dados de uma maneira integrada, e que permitam ao pesquisador e ao usuário, apenas debruçarem-se sobre os aspectos agrônômicos do problema.

A proposta deste trabalho é a de abordar exatamente essas ferramentas de suporte, os sistemas de informações, entendidos não como uma mancha de programas sem relação entre si, mas como um conjunto coeso e homogêneo de partes que se encaixam e se interligam, facilitando a pesquisa e a produção segundo as premissas da AP.

No capítulo seguinte abordam-se essas ferramentas utilizadas na pesquisa até o momento, e suas características, como são encontradas na literatura.

3. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES PARA A ETAPA DO GERENCIAMENTO

3.1 Introdução

A complexidade envolvida nos processos agrícolas aparece de forma ainda mais evidente na AP, a qual representa uma tentativa de se tratar o sistema produtivo no campo de uma maneira mais global, embora mais localizada. Os resultados apresentados até o momento e as dificuldades encontradas por todos os que têm se envolvido com essa tecnologia, têm tornado evidente que o entendimento da variabilidade espacial e temporal, e sua adequada manipulação, passam por uma abordagem sistêmica do processo produtivo, já que as visões parciais não têm surtido efeito.

Esse enfoque mais abrangente constitui-se das diversas etapas e atividades identificadas no capítulo 2, as quais envolvem uma grande quantidade e diversidade de dados e de equipamentos. A manipulação desses dados exige o uso de recursos computacionais e, para isso, tem-se lançado mão de diversos programas. Porém, a utilização dessas ferramentas tem sido muito dificultada, por não constituírem até o momento um sistema computacional unificado aplicado à solução do problema. Em vez disso, o que existe em geral são pacotes de software isolados que são manipulados pelo usuário; cabe a ele a tarefa de superar as barreiras de troca de dados entre os pacotes, além de ter que conhecer as interfaces de operação de cada um, bem como conhecer com um certo detalhe os processamentos que realizam.

O que deveria ser uma tecnologia de suporte a decisão, acaba por se converter para os usuários num problema em si mesmo. Estes, tanto os agricultores e mesmo os pesquisadores já acostumados ao uso de diversos desses pacotes, ressentem-se da falta de uma solução integrada composta dessas diversas ferramentas interligadas. Dessa forma, poderiam concentrar seu trabalho no entendimento e na solução do problemas da AP, ao invés de dedicarem seu tempo a tarefas de conversão de arquivos, de preparação de dados, de ajustes de parâmetros, etc.

Dito de outra forma, o enfoque de sistema que a AP preconiza para a agricultura, deve ser também estendido para a tecnologia da informação que lhe serve de suporte. O conceito de um sistema integrado deve ser considerado um paradigma para o problema.

Com o objetivo de entender os problemas relacionados aos sistemas de informações para a AP, seus requisitos e suas possíveis características, apresentam-se a seguir exemplos de experiências de implementação, bem como outras propostas levantada por diversos autores.

3.2 Sistemas de informações para AP: experiências e propostas

A respeito de sistemas de apoio à etapa do gerenciamento da informação, a literatura apresenta alguns exemplos de sistemas integrados, compostos de diversos módulos desenvolvidos pelos autores. Mais numerosos são os exemplos de integração de componentes de mercado, principalmente GIS e modelos de simulação, não só para AP mas também para manejo de recursos naturais.

3.2.1 O *Field Information System*

GOERING; HAN (1993) da University of Illinois desenvolveram um protótipo de um sistema denominado *Field Information System* - FIS, Sistema de Informações de Campo. O protótipo permite gerar mapas a partir de amostragens pontuais de solo, e contém modelos agronômicos que são utilizados no cálculo de requisitos de nutrientes e na subsequente geração de mapas de taxas de aplicação.

Além disso, o programa deveria incluir facilidades para permitir a edição de dados nas células, para realização de pesquisas a respeito das características dos dados das células, e para a apresentação de vários tipos de mapas.

Com relação a sua importância como ferramenta, os autores afirmam que o FIS é o elemento central na AP, pois armazena os dados espacialmente referenciados para cada talhão, permite a pesquisa e a tomada de decisão baseados naqueles dados, e prepara mapas de aplicação.

Revendedores de fertilizantes, consultores agrícolas e produtores estariam entre os usuários finais dos FIS, e o programa foi projetado para ser amigável mesmo para aqueles sem grande experiência prévia em computadores. A plataforma computacional utilizada foi o PC, numa época em que aquelas máquinas apresentavam um desempenho bastante limitado, e memória e disco rígido eram restrições. Os autores basearam seu

desenvolvimento num modelo *raster* de processamento, uma vez que todos os dados do FIS são relativos a células. Um talhão típico de no máximo 64ha, com células de no mínimo 10m, e com no máximo 20 camadas de dados, demandaria uma área para armazenamento de dados inferior a 1 Mbyte, bastante razoável para a época.

As funções primárias do FIS eram: registro do talhão, entrada de dados, criação de mapa de aplicação, edição de mapa, pesquisa, e saída de mapa.

O registro do talhão é a primeira etapa, e compreende a criação de um subdiretório para todos os arquivos relativos àquele talhão, incluindo um arquivo de definição do talhão, um arquivo de limites, e os diversos arquivos de dados.

O arquivo de definição do talhão é uma simples descrição textual da área. O arquivo de limites do talhão descreve a sua localização geográfica, que pode ser feita por três métodos. Num primeiro método, os pontos do perímetro são obtidos por um receptor GPS, que fornece as suas latitudes e longitudes; a escolha de um ponto de origem local permite criar um sistema de coordenadas locais, que passará a ser utilizado automaticamente pelo FIS. No segundo método, os pontos do perímetro podem ser fornecidos já em um sistema de coordenadas locais; e no terceiro método, o talhão pode ser desenhado como auxílio do *mouse*, com base apenas em coordenadas locais. O sistema de projeção cartográfica UTM (Universal Transverse Mercator) é utilizado para a conversão de dados do GPS para coordenadas locais.

A entrada de dados pode ocorrer a partir de diversas fontes, como mapas digitalizados, sensores de campo, modelos, sensoriamento remoto e teclado. Dados amostrados de solo, por exemplo, são inseridos manualmente pelo teclado, célula a célula. No caso de múltiplos sensores fornecerem dados com referência espacial, eles são entrados num formato pré-definido, padronizado pelos autores:

longitude, latitude, dados canal 1, dados canal 2, ... dados canal n

Nesse caso, o usuário deve definir a atribuição de cada canal a uma camada de dados, após o que o FIS automaticamente converte o sistema de coordenadas e armazena os dados num arquivo de dados amostrados. Dados com referência a coordenadas locais também são aceitos.

O FIS prevê a utilização de oito tipos de mapas-base, isto é mapas obtidos a partir de processamento de dados de amostras de campo; são eles: tipo de solo, textura, declividade, condição de erosão, teor de matéria orgânica, pH, teor de P e teor de K.

Para o processamento desses dados espaciais amostrados, visando a sua interpolação, o seu agrupamento (*blocking*) e a atribuição de valores às células, o único método previsto é o denominado *weighted moving median*.

A partir desses mapas, o FIS permite a geração de mapas de taxa de aplicação de insumos, sendo que os insumos suportados são N, P, K, e o calcário. Esses mapas são denominados mapas secundários, mesma denominação utilizada para mais um outro mapa, o mapa de meta de colheita.

Este último mapa é um importante fator na determinação dos mapas de aplicação. Para sua geração, o FIS possui duas alternativas. Uma primeira alternativa é a utilização de dados anteriores de colheita, se estes estiverem disponíveis na forma de mapas. Alternativamente, pode-se utilizar modelos agronômicos para estabelecer metas de colheita baseados em parâmetros de solo e de manejo.

Também para a geração de mapas de aplicação, o FIS utiliza-se de modelos obtidos de manuais de recomendações agronômicas e dos dados necessários para esses modelos. Como essas recomendações são específicas por cultura, duas culturas são incluídas no FIS: milho e soja.

Para a geração de mapas de aplicação, o usuário conta com uma tela específica que lhe solicita a entrada de diversos dados, como preços de insumos e do produto agrícola, nível de manejo adotado, além dos mapas-base a serem utilizados.

Um editor de mapas está disponível para a mudança de valores célula a célula, o que pode ser feito em qualquer mapa, base ou secundário. Isto permite a eliminação de pontos considerados discrepantes, a incorporação de julgamento humano nos mapas de meta de colheita e taxa de aplicação, e mesmo a alteração de dados baseada em inspeção visual do campo.

O FIS permite a realização de pesquisas nos mapas (e entre eles) com relação a valores de parâmetros. Desta forma, é possível identificar regiões homogêneas segundo uma combinação de situações, a fim de analisar os efeitos de manejo e as causas de variabilidade.

Finalmente, como saída, o FIS permite a impressão de mapas. Os autores previam a implementação de um arquivo de saída com o valor da célula, e a coordenada do vértice mais próximo da origem, além das coordenadas da origem (latitude e longitude) e as dimensões da célula, a fim de exportar os dados para um controlador de aplicação.

O trabalho representou uma das primeiras iniciativas documentadas de se construir um sistema integrado para o auxílio ao gerenciamento em AP, e apresenta as funções básicas definidas no capítulo 2. Em seu trabalho, os autores desenvolveram funcionalidades que, a princípio, são típicas de sistemas GIS comerciais, aparentemente num esforço desnecessário. Talvez a opção pela plataforma PC possa ser uma chave para esse esforço extra aparente, uma vez que a maioria dos GIS disponíveis privilegiava até pouco tempo atrás as plataformas Unix, e apenas mais recentemente, foram portados alguns desses sistemas para PC.

Uma característica interessante decorrente de ser um sistema integrado é sua interface de operação, que é coerente e homogênea, por ser um único programa. Os autores vislumbraram a necessidade da incorporação de outros pacotes, como modelos de simulação mais complexos, mas, aparentemente, não houve uma continuidade dessa iniciativa pioneira. Certamente foi um dos trabalhos que estabeleceu as bases para o conceito de sistema de informações de campo. Como foi um pacote totalmente desenvolvido pelos autores, não foram apresentadas questões relativas à interface com outros pacotes, as dificuldades de integração, e tampouco qualquer discussão sobre uma arquitetura aberta foi levantada.

3.2.2 O PC-MAPS

Um outro trabalho igualmente importante e pioneiro no estabelecimento do conceito de um sistema de informações para AP foi o de MOTZ; SEARCY; NEUHAUS

(1993). realizado na Texas A&M University. Como parte do projeto MAPS - *Management of agricultural production spatially*, os autores desenvolveram o PC-MAPS. "um pacote de software integrado para a apresentação gráfica de dados espaciais, análise geoestatística e tomada de decisão, que pode levar de uma matriz de dados amostrados até um mapa de aplicação completo".

O software permite gerar mapas a partir de dados geo-referenciados, e inclui diversas técnicas geoestatísticas para estimação de parâmetros em locais não amostrados. O pacote oferece operações lógicas booleanas e matemáticas para a manipulação das várias camadas de dados, com vistas à análise da relação entre os mapas e à obtenção de novas camadas de dados derivados. Por fim, permite a criação de mapas de aplicação e sua exportação em formato DOS para equipamentos de controle de aplicação.

A primeira etapa no uso do PC-MAPS é a que engloba a definição dos limites do talhão e a criação da grade de células de gerenciamento; todo o processamento é baseado em células nas quais é dividido o talhão, e as quais são constantes para todas as camadas de dados. A definição do perímetro do talhão pode ser feita em coordenadas locais ou geográficas e deve ser feita através de um arquivo. Ao mesmo tempo faz-se a definição da grade de células e de um sistema local de coordenadas em relação ao sistema geográfico.

A seguir, pode ser feita a entrada de dados brutos (amostrados), através da especificação de arquivos de dados, seus formatos, unidades, e sistemas de coordenadas. O programa permite a aplicação de ferramentas de análise sobre os dados brutos, tais como transformação (logaritmica) e *detrending* nos dados. O objetivo desses processamentos é o de tornar os dados mais adequados às premissas básicas dos métodos geoestatísticos que serão posteriormente aplicados.

Em seguida, uma operação a ser feita é analisar a variabilidade espacial, para o que o PC-MAPS utiliza a semi-variância, gerada segundo quatro estimadores diferentes (Matheron, *4th root*, *trimmed*, *trimmed-4th*). A partir dessa análise, pode-se gerar o semi-variograma para os dados, especificando o tipo do modelo a ser adotado (linear, esférico, exponencial).

Concluída essa análise da variabilidade, pode-se efetivamente criar uma camada de dados mapeados para os dados brutos originais, definindo (além dos arquivos de dados brutos e de grade) a forma de designação de valor para as células (pela média, *block kriging*, interativo, por exemplo) e o método de interpolação (nenhum, *punctual kriging*, *pseudo-kriging*).

A etapa seguinte consiste na geração de camadas derivadas de dados a partir da combinação das camadas existentes. Os quatro tipos de funções de derivação possíveis são conversão (adição, subtração, multiplicação, exponenciação, logaritmo natural, e raiz quadrada), matemática (transformação linear de uma camada, combinação linear de duas camadas), limiar (discretização de mapas contínuos, segundo faixas) e booleana (combinação de expressões lógicas sobre variáveis de mapas, dentro de operações *if-then*).

A etapa final do processo é a geração do mapa de taxa de aplicação, que nada mais é do que a discretização de um dos mapas preexistentes (possivelmente um mapa derivado). O formato suportado pelo programa para a exportação do mapa de aplicação é o texto-DOS, e o sistema de posicionamento então utilizado era o DDMU-microondas. Posteriormente foi incluído o suporte ao sistema GPS.

Da mesma forma que o FIS de GOERING; HAN (1993), o PC-MAPS teve a importância de ser um pacote abrangente, uma vez que engloba boa parte das operações básicas identificadas anteriormente no Capítulo 2. Por ter sido totalmente desenvolvido pela equipe dos autores na forma de um pacote integrado, sua interface de operações é homogênea para todas as funções. Por outro lado, impôs aos autores a carga extra adicional do desenvolvimento de funções básicas de exibição e manipulação de mapas, existentes em pacotes GIS.

Uma característica interessante é a disponibilidade de diversos métodos de análise e processamento de dados espaciais, o que permite sua escolha e mesmo a comparação de seu desempenho para o mesmo conjunto de dados, dentro do mesmo programa. Tal característica, todavia, só é interessante para fins de pesquisa, uma vez que um usuário leigo, por exemplo um produtor, se sentiria extremamente confuso com tais métodos e parâmetros.

A mesma diversidade de métodos de análise não se observa para a busca de correlações entre camadas de dados, para o que o programa dispõe apenas de funções simples. O software também não prevê recursos de simulação.

A versão inicial em sistema operacional DOS foi posteriormente portada para ambiente MS-Windows com algumas alterações (WEI; GUAN; SEARCY, 1995). O propósito da versão Windows do programa é, segundo seus autores, "resolver a limitação de memória, melhorar a estrutura do programa e interface do usuário, e deixá-lo pronto para a futura inclusão de capacidades mais sofisticadas".

A interface do programa em sua nova versão é sensivelmente melhor, enquanto suas funções básicas permanecem as mesmas. Embora o ambiente Windows possibilite algum tipo de flexibilidade na expansão das funções e interligação com outros módulos, utilizando-se dos recursos de OLE (*object linking and embedding* - aninhamento e ligação de objetos) e DDE (*dynamic data exchange* - troca de dados dinâmica), é difícil avaliar até que ponto a estrutura do programa efetivamente comportará tais evoluções.

Do contato existente com os pesquisadores da equipe, sabe-se que o pacote não está finalizado, embora também não tenha sido abandonado.

3.2.3 O sistema LORIS

O sistema LORIS - *Local Resource Information System* (sistema de informações de recursos locais) é definido pelos seus autores como um "GIS especificamente projetado para as necessidades da AP" (SCHRÖDER; HANEKAUS; SCHNUG, 1997).

Diferentemente das iniciativas anteriormente relatadas, este sistema baseou-se em pacotes de mercado que foram integrados para obter as funcionalidades desejadas. O objetivo dessa proposta foi o de reduzir o tempo e o custo de desenvolvimento, implementação e aplicação. Para tanto, o sistema se apoia em softwares padrão de mercado implementados sob a plataforma Windows, e utiliza as suas funcionalidades, especialmente a do gerenciador de bancos de dados MS-Access como núcleo de suporte para interligação com outros programas.

As informações georeferenciadas são armazenadas no banco de dados de maneira "rasterizada", sendo que a grade mínima definível é de 10 x 10m. Devido a limitações do software, o número máximo de pontos para cada talhão é de 10.000, o que limita a área na prática a 100ha. Um arquivo *raster* é criado quando do registro de um novo talhão, ao importar seus limites, e o tamanho da grade é então definido pelo usuário.

As ferramentas geoestatísticas, as funções de importação e exportação de dados, e saída gráfica são as providas pelo pacote Surfer. Um número de formatos de entrada e saída de dados, inclusive de controladores de aplicação, está disponível. Para a exportação de dados para controladores, cartões do tipo PCMCIA são utilizados.

Prescrições (fórmulas) sobre como combinar camadas de dados, a fim de criar outras camadas, são armazenadas e realizadas pela planilha MS-Excel. Este programa também armazena regras de aplicação, e informações sobre produtos de mercado, como teor de nutrientes, por exemplo. O usuário pode editar e criar esses algoritmos, usando as funções do Excel, e desta forma pode inserir seu próprio conhecimento no sistema.

Uma interface gráfica foi recentemente adicionada ao conjunto, de modo a permitir a fácil inserção de conhecimento local, como, por exemplo, dados de pontos ou polígonos. A interface manipula arquivos compatíveis com o formato do Surfer ou formato DXF (AutoCAD). A Figura 3.1 ilustra os componentes do sistema e suas interligações.

O sistema, que está já disponível comercialmente, é bastante interessante sob diversos aspectos. Em primeiro lugar, a abordagem de integração de pacotes de mercado possibilitou uma boa modularidade, a desejada rapidez e baixo custo de desenvolvimento. Ao mesmo tempo, ao adotar a plataforma Windows, os autores contaram com uma série de ferramentas disponíveis e, mais do que isso, contarão com a certeza de sua evolução, ao mesmo tempo em que manterão a compatibilidade.

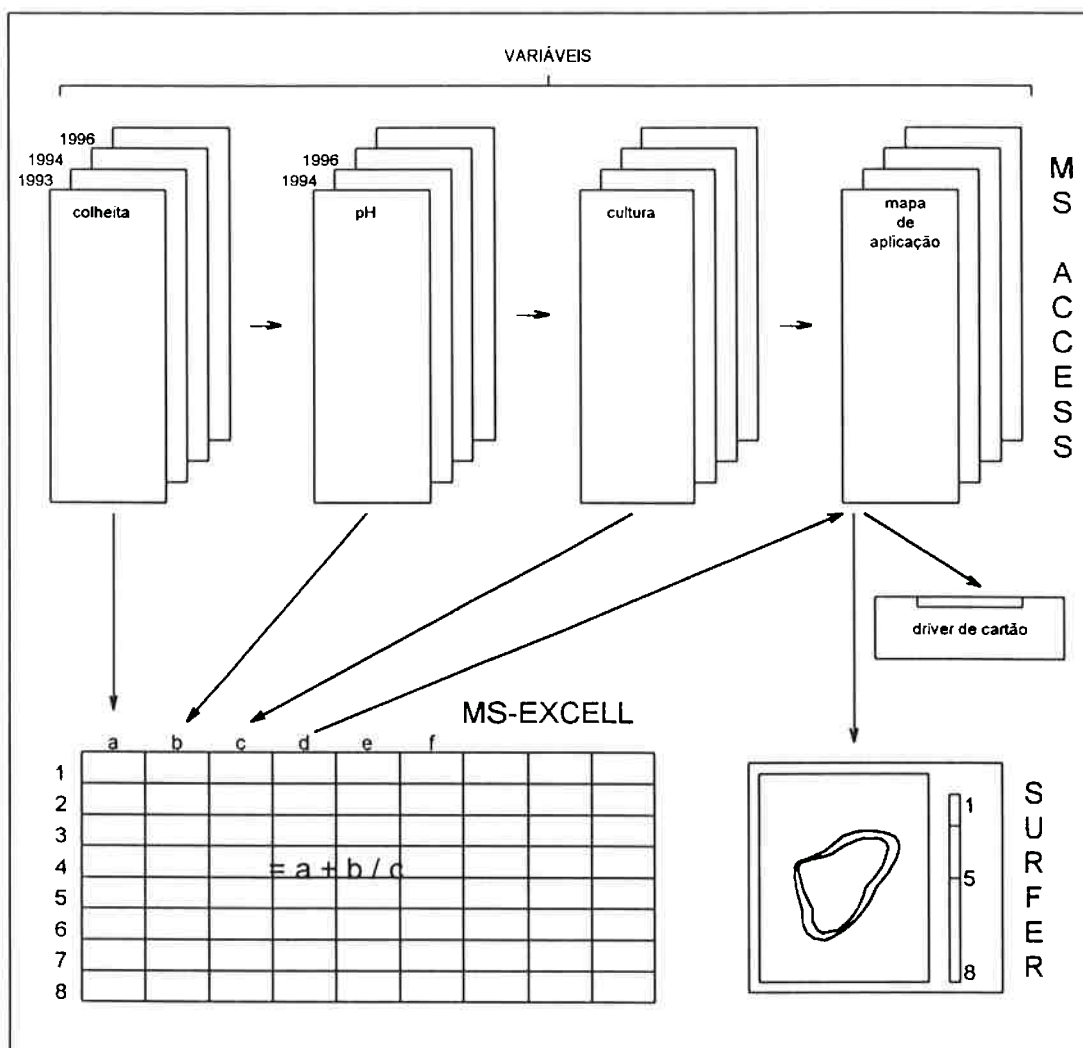


Figura 3.1 - Sistema LORIS: componentes e interligações. Fonte: SCHRÖDER; HANEKAUS; SCHNUG (1997).

Eventualmente, ao não incorporarem um pacote GIS, alguns recursos tiveram que ser desenvolvidos à parte, como a interface gráfica de entrada de dados, mas o baixo custo do sistema é certamente uma boa característica.

Uma questão que resta é a da interface do usuário. Usando as ferramentas disponíveis para o ambiente Windows, é possível padronizar a interface do sistema até certo ponto, tornando transparentes para o usuário os pacotes que estão por trás do sistema, restando a dúvida sobre sua aplicabilidade ao pacote Surfer.

3.2.4 *Sistemas baseados em pacotes GIS*

Em oposição aos dois primeiros exemplos anteriores, nos quais o programa inteiro foi desenvolvido pela equipe, incluindo as funções básicas de representação e manipulação de mapas, diversos outros exemplos de sistemas de informações de apoio à AP baseiam-se em pacotes de sistemas de informações geográficas, GIS. Suas funcionalidades são expandidas com o uso dos recursos existentes no próprio programa, como linguagens de macros, ou ainda recorrendo-se a programas externos.

Segundo EVANS; HAN; RAWLINS (1995), o desenvolvimento de um sistema de informações específico para aplicação em AP é difícil e exige muito tempo e recursos; por isso, a abordagem mais comum tem sido a de se interligar um GIS e outros componentes. Tendo isso em mente, os autores estudaram as limitações e capacidades dos GIS para AP, e afirmam que o GIS é um dos componentes mais importantes na AP pois é essencial para a manipulação da grande quantidade de dados espaciais. Todavia, ressaltam que seu papel na AP não deve ser exagerado.

As principais limitações apontadas dos pacotes GIS da época, para este tipo de aplicação, são a falta de ferramentas analíticas básicas (como rotinas de interpolação espacial, entre elas *kriging* e *distance-weighting*) e as dificuldades em interligá-los a outros softwares, como modelos de simulação de culturas. Segundo os autores, uma outra grande limitação é que o usuário tem que gerar arquivos de mapas de grade antes da entrada de dados no GIS.

Com relação às ferramentas básicas de análise, diversas são disponíveis nos GIS, mas a maioria delas não tem uso freqüente em AP. As principais funções utilizadas são *overlay* de mapas, aplicação de simulações a cada sub-área, e extração de características (*feature-extraction*, como *clipping*) que pode ser útil para bordas irregulares do talhão.

Os autores comparam os GIS *raster* e *vector* e sua adequação para AP. Afirmam que o modelo de dados *raster* parece ser mais adequado pelas seguintes razões: a principal classe de características nos mapas da AP é a área, e sua representação é facilitada por esse modelo de dados; as fontes de dados usuais tornam fácil a geração de mapas *raster/grid*; o modelo é computacionalmente mais fácil e compatível com muitos

sistemas de processamento de imagens digitais; a principal operação realizada sobre os mapas na AP é o *overlay*, e para ela esse modelo de dados é mais eficiente.

Outro aspecto das limitações dos GIS atuais analisado pelos autores diz respeito à sua capacidade e recursos para interfacear com outros programas. Em particular, na AP é de grande interesse e valia o uso de modelos de simulação aplicados a cada unidade de área, a fim de que se possa testar ou desenvolver práticas de gerenciamento.

Há, segundo HAN et al. (1995), dois tipos de interligação entre GIS e modelos de simulação: simulação direta dentro do GIS e uma interface entre o GIS e o modelo.

A simulação direta dentro do GIS seria uma maneira mais efetiva de interligar os dois programas, já que não há troca de dados externa, pois o modelo é, de fato, uma parte do GIS. O modelo é executado sem interrupções manuais, acessando os dados no GIS na medida das necessidades. Todavia, isto só é possível se ambos, GIS e modelo, forem desenvolvidos pela mesma equipe, o que é improvável e custoso, ou se o GIS dispuser de ferramentas para codificação direta dos modelos, que estariam assim programados internamente. Este último caso tem sido utilizado, mas se restringe a modelos de pequena complexidade.

Com, em geral, os modelos são bastante complexos, e freqüentemente foram desenvolvidos por diferentes equipes, os dois programas são independentes e externos um ao outro, e uma interligação externa entre os dois programas é utilizada.

O GIS gera os dados requeridos pelo modelo, que os lê, executa a simulação e envia os resultados de volta para o GIS, para a apresentação ao usuário e tomada de decisão. Programas adicionais são necessários para essa interligação, basicamente para a troca de dados entre os dois programas, e são específicos para a dupla GIS/modelo em questão.

Dois tipos de modelos podem ser interligados a GIS, conforme sejam de parâmetros distribuídos ou não. No caso de modelos de parâmetros distribuídos, os dados de toda a área são lidos simultaneamente, antes da execução da simulação; portanto, a troca de dados ocorre em um ciclo. Este é o caso de diversos modelos hidrológicos.

Já no caso de modelos de parâmetros não distribuídos, como é a maioria dos modelos de crescimento de culturas, cada unidade de área com características distintas deve ser simulada separadamente. Antes de cada simulação, os pacotes trocam dados entre si, e essa troca de dados dinâmica requer que ambos os pacotes sejam executados em modo de lote (*batch*), e ainda que a simulação seja interrompida e reiniciada com novos valores a cada passo. Esse processo requer quantidades consideráveis de memória e armazenamento.

O número de parâmetros que serão efetivamente tratados espacialmente precisa ser adequadamente considerado. Um número muito grande de camadas de dados aumentaria demais a quantidade de áreas com características distintas, e inviabilizaria o tempo de simulação. A adoção de valores constantes espacialmente para determinados parâmetros depende de um bom conhecimento do modelo e da importância dos parâmetros.

A este respeito, vale comentar que sistemas especialistas podem ser utilizados na tarefa de seleção de parâmetros para a execução de simulação de modelos, como sugerido por BARRET; JONES (1989).

Um outro exemplo de limitação apontado pelos autores é o da interface dos GIS com equipamentos como monitores de colheita para gerar mapas de colheita. Idealmente, o GIS deveria interfacear diretamente com os dados brutos vindos do equipamento (constituídos basicamente de dados de colheita e dados de posição) e incorporar algumas rotinas analíticas para gerar o mapa de colheita. No entanto, como os GIS atuais não têm essa capacidade, programas adicionais para processar os dados de colheita devem ser desenvolvidos; eles geram arquivos de mapas *grid/raster* e esses são convertidos para formatos compatíveis com o GIS em questão. Outro inconveniente é que o processo não é automático e requer interrupções manuais.

A seguir, são apresentados alguns exemplos de implementações de sistemas obtidos a partir de integração de GIS com outros pacotes.

HAN; EVANS (1994) desenvolveram um sistema integrado para otimizar as práticas de manejo para pivôs centrais (BMPCP - *best management practices for center*

pivot). O sistema proporciona uma estrutura unificada de análise, implementada a partir da interligação de modelos de simulação de domínio público com um GIS comercial.

Foi implementado com o GIS comercial PC ARC/INFO, com o modelo de aplicação de água para pivô-central CPIM, com dois modelos de simulação de crescimento de culturas, o SIMPOTATO para batata, e o CERES Maize para milho, além de um modelo de qualidade da água na zona radicular, o RZWQM. Os objetivos de sua utilização são determinar o potencial de lixiviação de N, e identificar necessidades de manejo localizado para talhões de milho ou batata.

A Figura 3.2 apresenta um diagrama do sistema, que consiste em três componentes principais: uma interface com o usuário, o conjunto de modelos de simulação e o GIS.

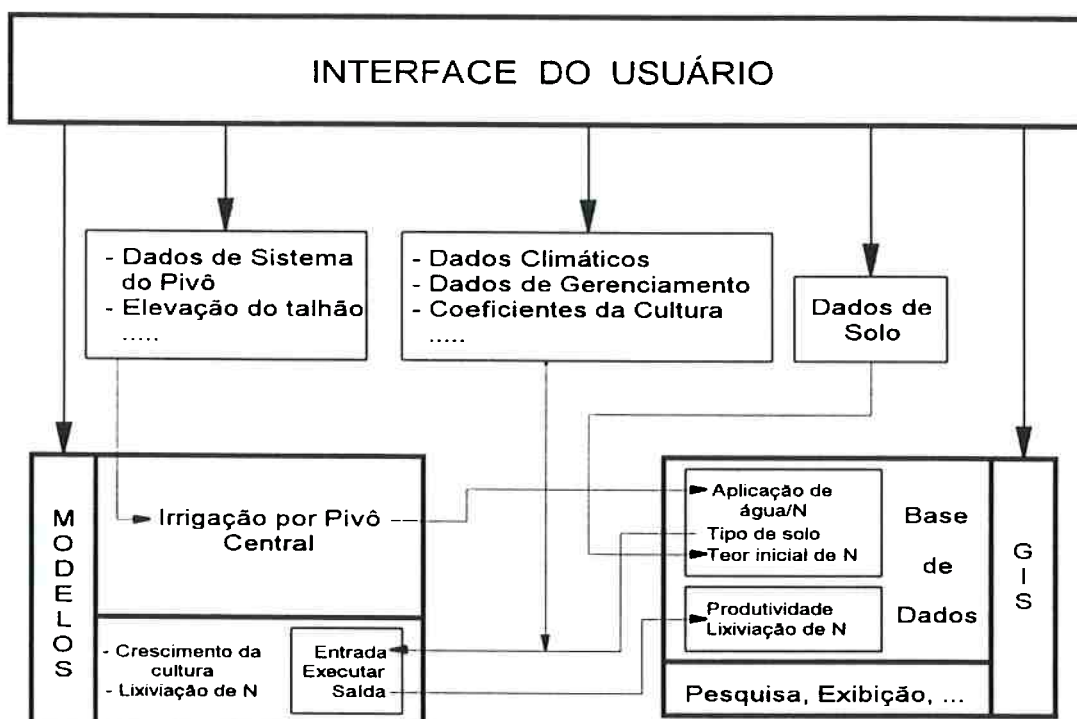


Figura 3.2 - Diagrama do sistema BMPCP. Fonte: HAN; EVANS (1994).

Segundo os autores, a principal consideração na implementação foi a interface de operação, uma vez que se destinava a usuários com o perfil de pesquisadores com um

treinamento mínimo em GIS. Portanto, a interface deveria controlar o acesso aos módulos individuais do GIS, bem como fazer a ligação necessária entre o GIS e os outros componentes do sistema. A interface foi implementada em C++ com o intuito de servir de administrador do sistema. Como o administrador não possui acesso direto aos módulos do GIS se o processador de comandos ARC não for previamente carregado, utilizou-se a linguagem de macros do GIS (SML - *simple macro language*) para disparar o administrador dentro de um arquivo de macro, após a carga do processador de comandos. Antes de chamar qualquer módulo do GIS, o administrador salva o status corrente num arquivo e finaliza. Após o término da execução do PC ARC/INFO, o administrador automaticamente é reiniciado com o conteúdo anterior do arquivo de status.

O programa possibilita a entrada de dados, a configuração e o armazenamento de parâmetros do programa utilizados nos diversos módulos, como parâmetros estatísticos, de irrigação, de fertilização com N, entre outros. Permite criar mapas topográficos, de distribuição de água, de tipo de solo e de teor de nitrogênio. Um mapa unificado pode ser gerado a partir dos mapas anteriores a fim de identificar áreas homogêneas, sendo utilizado para execução dos modelos de simulação para batata ou milho.

Para a visualização dos mapas, um módulo foi desenvolvido especialmente, já que a interface de operação do módulo responsável por essa função no GIS é considerada pouco amigável. O mesmo problema de interface foi apontado pelos autores com relação à realização de pesquisas nos mapas, e com relação à saída de mapas, e por isso necessitaram de módulos adicionais, apesar dessas funções existirem no GIS.

Em outro trabalho análogo, HAN et al. (1995) abordam o desenvolvimento da interface entre um GIS comercial (PC ARC/INFO) e um simulador de crescimento de batata (SIMPOTATO) para estudar a produção da cultura e a lixiviação de N espacialmente. Os autores comentam que vários outros trabalhos discutem a interface entre GIS e modelos de simulação, porém poucos foram implementados com sucesso na forma de um sistema integrado, e que correntemente um considerável esforço de preparação manual de dados é necessário para a interface entre o GIS e um modelo de simulação.

O fluxo de dados entre o GIS e o modelo é apresentado na Figura 3.3. Para cada sub-área distinta na base de dados do GIS, um programa (GIS → MODELO) extrai os códigos dos atributos daquela sub-área na base de dados, converte os códigos dos atributos para dados de entrada do modelo e os envia ao modelo. O SIMPOTATO também lê outros dados não espaciais como os dados de clima e de gerenciamento da cultura, e após executar a simulação, um outro programa (MODELO → GIS) recupera os dados de saída do modelo (colheita de batata e perda de N por lixiviação), converte esses dados de saída para códigos de atributo do GIS e os armazena na base de dados do GIS. O *loop* continua até que todas as sub-áreas distintas tenham sido cobertas. A base de dados atualizada passa a ter, então, mais duas camadas de dados (obtidas por simulação): a de colheita de batata e a de perda de N por lixiviação.

Afirmam os autores que a criação da base de dados do GIS é a etapa mais demorada do processo, e que os resultados são largamente dependentes dos dados originais; portanto, essa etapa deve merecer bastante cuidado.

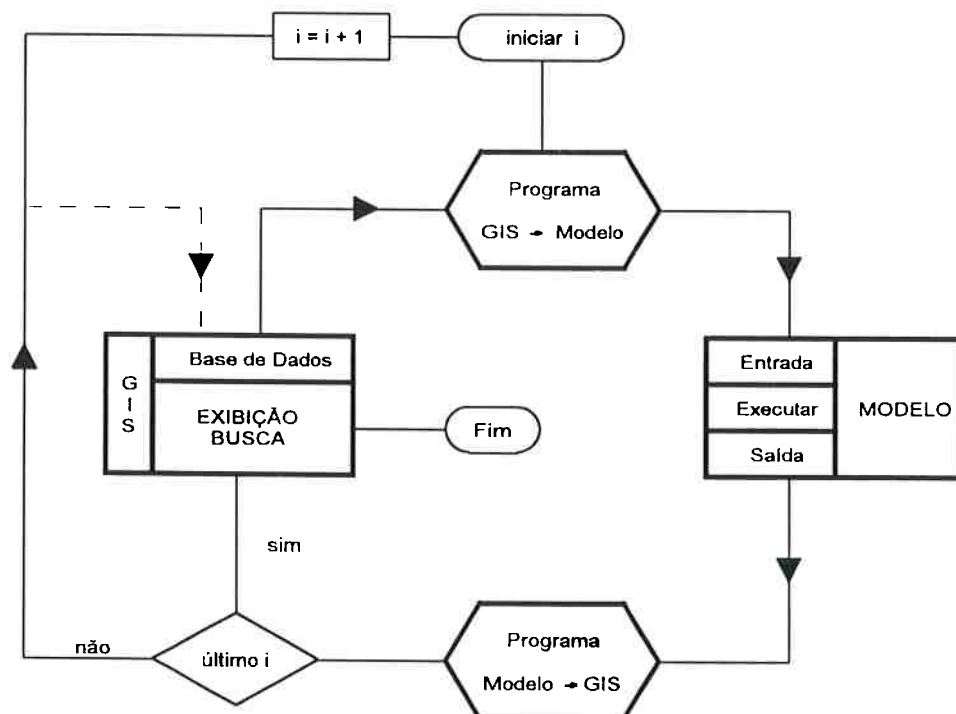


Figura 3.3 - Fluxo de dados entre o GIS e o modelo de simulação no sistema integrado. Fonte: HAN et al. (1995).

Esses trabalhos exemplificam bem alguns dos problemas encontrados na interligação de programas, como GIS e modelos de simulação. Como os programas não permitem acesso direto aos seus módulos ou funções básicas, deve-se recorrer a artificios como o uso de linguagens de macro-comandos, quando elas existirem, o que implica em alguns truques de programação.

O exemplo também é bem ilustrativo da questão da interface inadequada de operação desses pacotes GIS de propósito geral. Esse problema decorre do fato de que suas funcionalidades são amplas e, em geral, excessivas para a aplicação em AP, o que complica sua manipulação pelo usuário menos familiarizado, ou interessado apenas num subconjunto restrito de funções. Para contorná-lo, um considerável esforço é requerido para a integração dos pacotes, mas com a vantagem de obter um sistema mais amigável para o usuário. Todavia, qualquer alteração dos componentes utilizados implica, provavelmente, em ter-se que rescrever todo o programa de interligação, dada a especificidade do tratamento.

A predominância do uso do GIS Arc/View na AP é clara. Num outro exemplo, McKINION et al. (1997) relatam a interligação de um sistema de apoio à decisão para a cultura do algodão, denominado GOSSYM/COMAX/WHIMS (GCW) com o referido GIS, para formar o que chamam de CROPVIEW.

O GCW é um sistema de apoio à decisão baseado em um modelo de simulação de crescimento da cultura do algodão, o GOSSYM, e num sistema especialista, o COMAX, que exercita o modelo e interpreta os seus resultados. Todas as estruturas de dados do GOSSYM foram transferidas para o GIS, e o COMAX foi totalmente a ele integrado, de forma a permitir automatizar decisões de gerenciamento. Pelo simples pressionar de um botão na tela, o sistema pode atualizar todas as unidades de gerenciamento da fazenda. As áreas podem ser selecionadas com o *mouse* e planos de manejo e mapas de taxa de aplicação podem ser criados para essas áreas.

Outros sistemas GIS têm sido reportados nas pesquisas em AP, em geral em trabalhos nos quais não há uma preocupação de consolidar um sistema a partir das ferramentas utilizadas. Os vários pacotes, entre eles o GIS, são utilizados isoladamente

como auxílio no estudo de aspectos particulares da AP. É o caso, por exemplo, dos GIS Idrisi e PC Raster, citados por SWINDEL (1997).

3.2.5 Outras propostas para sistemas de informações para AP

Diversos outros autores abordam o problema dos sistemas de informações de apoio à AP, sob diferentes pontos de vista.

LARSCHEID; BLACKMORE (1996) enfatizam a necessidade de se trabalhar no desenvolvimento de um sistema de informações (SI) interativo para a AP, uma vez que já há uma quantidade significativa de equipamentos disponíveis para as etapas de coleta de dados e aplicação.

Apresentam uma série de considerações e propostas sobre a forma de implementação de um SI, partindo da premissa básica de que é necessário adequá-lo ao perfil do operador do sistema, que na opinião dos autores será o próprio produtor rural.

Segundo eles, os fatores condicionantes do sucesso da AP numa dada fazenda serão as capacidades do usuário em termos computacionais, e seu entendimento da variabilidade espacial e temporal dos parâmetros e da colheita. A função do SI nesse processo é a de dar suporte ao processo de tomada de decisão, mas enfatizam que os produtores sempre desejarão tomar suas próprias decisões, com o apoio do SI, em vez de simplesmente adotar soluções propostas pelo sistema. Além disso, a informação é algo pessoal, em seu conteúdo e forma, e deve ser moldada de acordo com o usuário.

Tendo isso em mente, os autores estudam o papel do tomador de decisão no ambiente da AP, e como ele interage com as ferramentas de software na troca de informações. A Figura 3.4 ilustra a interação.

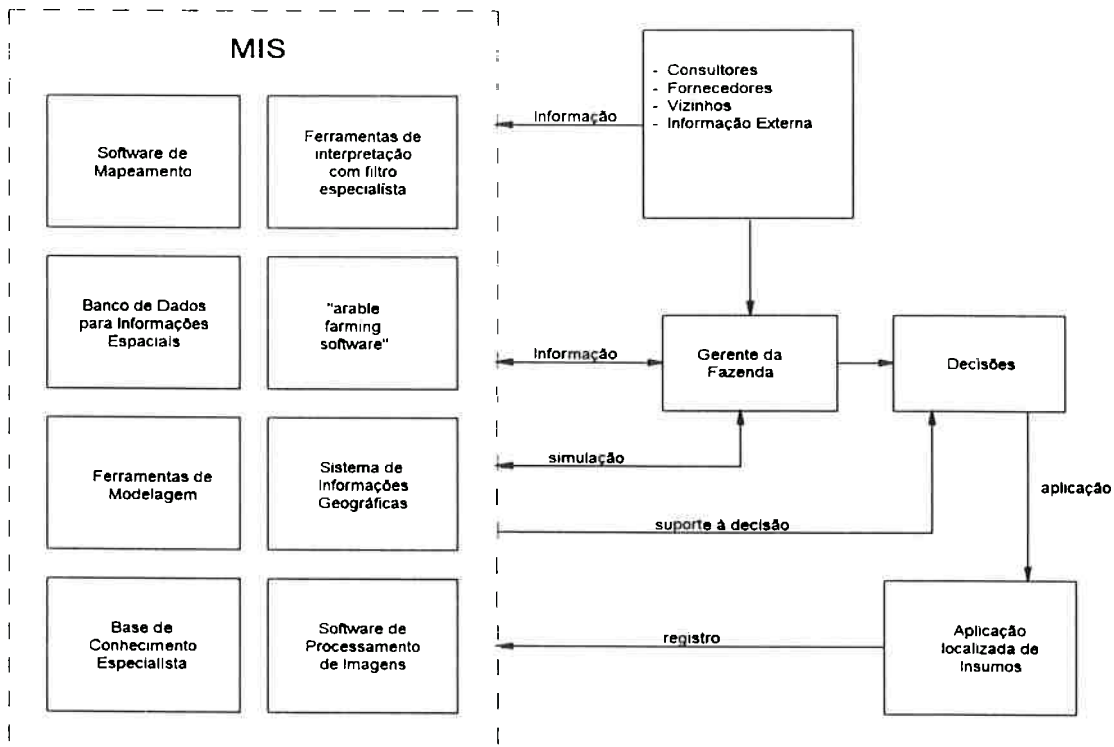


Figura 3.4 - Interação entre as partes do sistema de gerenciamento das informações (MIS) e o usuário. Fonte: LARSCHEID; BLACKMORE (1996).

Esse tipo de interação representa o mais alto estágio de adoção de tecnologia, e seria a meta final da AP, mas é de difícil implementação segundo os autores, devido ao excessivo número de incógnitas no processo global. A principal característica desse estágio é a presença do que chamam de MIS - *Management Information System* ou Sistema de Informações de Gerenciamento, que incorpora todas as ferramentas de software envolvidas no processo de tomada de decisão: software de mapeamento, ferramentas de interpretação, base de dados para informações espaciais, software para culturas específicas (denominado *arable farming software* no Reino Unido), ferramentas de modelamento, GIS, base de conhecimento especialista e software para processamento de imagem.

Considerando que não há ferramentas de análise automática no mercado, e que os produtores não estão aptos a realizar análises estatísticas, os autores concentram seus

esforços na análise visual dos mapas, ao invés daquilo que chamam de análise processada (sic) ou numérica. A partir de contatos com os próprios produtores que participam do projeto, os autores apresentam, então, algumas recomendações fortemente voltadas à implementação e utilização de um SI, tais como:

- deve-se definir um dicionário de dados com o propósito de organizar dados em formato de mapas segundo um esquema de nomes;
- deve-se criar uma base de dados contendo todos os conjuntos de dados espaciais;
- deve-se padronizar a apresentação e o processamento dos mapas de maneira a permitir a comparação entre eles. Entre essas recomendações de padronização citam:
 - o tipo de projeção utilizada: UTM com grade britânica;
 - a escala de cores para representação de colheita;
 - as informações adicionais a serem apresentadas na legenda do mapa;
 - a normalização dos mapas pela diferença em relação à média;
 - a classificação da colheita em apenas três níveis - baixo, médio e alto, para facilitar a interpretação;
 - a geração de mapas de tendência de produtividade, baseados nos mapas normalizados.

Os autores afirmam que metodologias para a integração de dados espaciais e temporais são raras e necessitam maiores desenvolvimentos, e que para a interpretação automatizada de mapas, ferramentas de inteligência artificial devem ser empregadas.

Um aspecto interessante deste trabalho é o de considerar o usuário no processo de concepção do sistema, esboçando um rudimentar modelamento de seu relacionamento e de seus papéis. Outro aspecto é da questão da padronização, que os autores sugerem como forma de poder comparar dados e resultados. Não há referências à forma de implementação do sistema, se a partir de pacotes de mercado, ou se a partir de desenvolvimento próprio. Embora haja referências claras à participação do usuário no

projeto dos autores, não há menção à forma como os usuários participam do processo, ou do nível tecnológico que possuem.

Para SKOTNIKOV; ROBERT (1996), é necessário um enfoque de sistemas na solução de problemas da AP, envolvendo tanto os equipamentos de campo como um sistema de informações para auxiliar na tomada de decisão. É praticamente impossível desenvolver um gerenciamento agrícola otimizado baseado em poucos parâmetros ou operações: todo o sistema de produção agrícola e fatores relacionados devem ser considerados.

Os autores afirmam ser necessário desenvolver um sistema de apoio à decisão integrado, incluindo diversos módulos para criação de bases de dados, mapeamento, análises geoestatística, econômica e estatística; para amostragem de solo, semeadura, aplicação de fertilizantes e de produtos químicos; e para a interpretação de mapas de colheitas. Tal sistema deve ser confiável, fácil de usar, auto-explicativo, e deve ser combinado com avaliações baseadas em conhecimentos de especialistas e modelos estatísticos.

A hipótese dos autores é de que, a partir do conhecimento das condições iniciais do campo, das práticas de gerenciamento da cultura, da qualidade de trabalho realizado em campo pelos equipamentos, do clima durante a produção, e da colheita obtida ao final, será possível avaliar as causas da redução na colheita verificada em certas áreas, para otimizá-la no futuro. A partir desses dados, pode-se desenvolver um modelo estatístico das dependências da produção em relação aos diferentes parâmetros, e com base nesse modelo, propor programas de aplicação de insumos.

A Figura 3.5 ilustra a sua proposta de uma estrutura de um sistema integrado, que compreende hardware e software. O sistema de apoio à decisão seria composto por vários programas individuais, cada um relacionado a uma operação, e teria no programa de interpretação do mapa de colheita um componente chave.

Além da unidade básica desenvolvida para o computador da fazenda, constituída dos módulos citados anteriormente, o sistema estaria eletronicamente ligado a um *Web-*

site, que possuiria uma base de dados comum para uso por sistemas de apoio à decisão em AP.

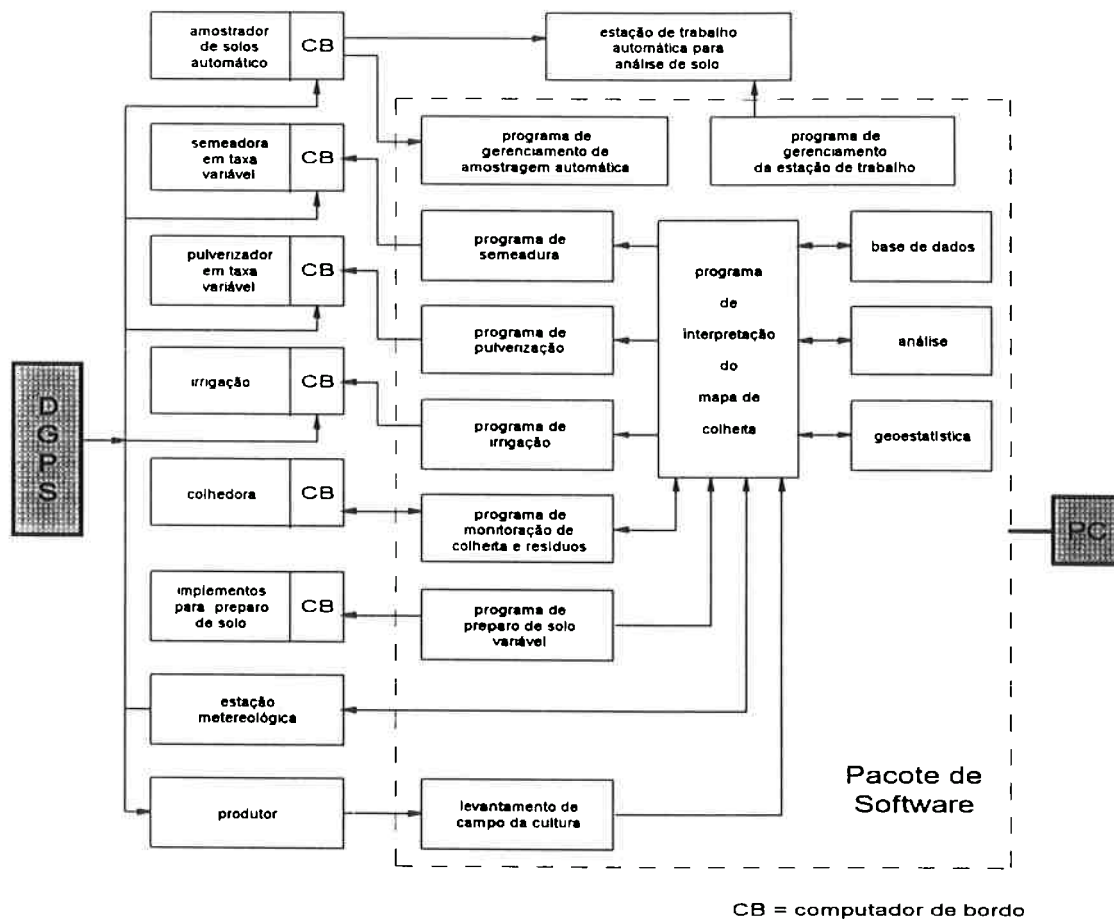


Figura 3.5 - Sistema integrado, segundo SKOTNIKOV; ROBERT (1996).

De toda a estrutura proposta, o que os autores efetivamente detalham é apenas um sistema especialista de interpretação de mapas de colheita. Propõem como primeiro passo a criação de uma base de dados vinculada a um GIS, com o maior número possível de parâmetros, todos referenciados a um mapa. Definem diversos conjuntos de parâmetros do sistema: características de campo, de análise de solo, de gerenciamento de campo, de monitoração do clima, de monitoração da colheita, formando uma espécie de dicionário de dados.

Na análise dos dados, o sistema especialista de interpretação da colheita teria papel preponderante. É apresentada uma estratégia para a análise do mapa de colheita em conjunto com os demais mapas de parâmetros disponíveis, com o objetivo de obter regras sobre a influência dos parâmetros na produção. A partir dessa análise, procuram identificar causas para a redução na produção, e identificar as práticas de manejo que resultaram em altas produtividades. Adicionalmente, uma análise econômica é incorporada para permitir a comparação do custo de obtenção das diversas produtividades, para que se possa encontrar a mais econômica. Sugerem que, após o acúmulo de dados suficientes, pode-se desenvolver um modelo estatístico da produção e simular diferentes técnicas de gerenciamento.

Os autores concluem ressaltando a complexidade do sistema agrícola na AP, o qual requer novos serviços para a agricultura, educação e treinamento de especialistas em AP. A posse de equipamentos da campo para AP por diversos produtores é um fato, e o que eles necessitam no momento é um Sistema de Apoio à Decisão - SAD (no inglês *DSS - Decision Support Systems*), para ajudá-los a otimizar a AP.

O trabalho apresenta algumas características interessantes. Uma delas é a visão integrada da AP como um sistema, incluindo não só o sistema de informações, mas os equipamentos de campo que com ele se comunicam, e mesmo a menção a uso de redes, como a Internet, para prover serviços e dados.

Há uma preocupação com um entendimento prévio das características do problema, numa espécie de modelamento, que inclui o relacionamento entre os módulos, bem como a definição de um conjunto de dados, numa espécie de dicionário de dados rudimentar. Também há um aspecto interessante relacionado à proposição de um método de análise e interpretação de mapas de colheita, voltado ao entendimento das causas de variabilidade.

Curiosamente, no entanto, não há qualquer menção aos aspectos básicos de como se chegar ao sistema integrado. Mais do que as dificuldades evidentes com a construção de cada um dos módulos (tanto do sistema de informações como dos equipamentos de campo, para coleta de dados e para aplicação localizada), a interligação desses módulos é um grande obstáculo à consolidação do sistema integrado. Não é

abordada a forma de implementação do sistema especialista de interpretação de colheita nem sua interligação com o GIS ao qual estaria associada a base de dados citada. A hipótese de os autores construírem todo o sistema deve ser descartada, pois além de inviável, é contrária à própria argumentação dos autores a respeito da complexidade do problema, da necessidade de novos agro-serviços, e é contrária ainda à sua crítica à multiplicidade de soluções proprietárias que se verifica nos equipamentos para campo.

Abordando as oportunidades e limitações da engenharia de sistemas para AP, SEARCY (1995) afirma que os sistemas de apoio à decisão - SAD são essenciais, devido ao grande corpo de conhecimento e aos extensivos conjuntos de dados com que se lida. O número de decisões gerenciais é muito aumentado pela consideração do talhão como um conjunto de unidades distintas, e a sobrecarga de decisões impedirá a adoção da AP se sistemas adequados não estiverem disponíveis. Quanto ao tipo de usuário, eventualmente a necessidade pela ferramenta será dos consultores, e não dos produtores, que se apoiarão naqueles para a implementação da tecnologia de precisão. Segundo o autor, poucos SAD estavam disponíveis, e a maior parte das capacidades dos sistemas estava limitada à combinação de camadas de dados em GIS. Embora novos trabalhos em associações de GIS com modelos estejam sendo desenvolvidos, um esforço maior é necessário. Nesses sistemas a serem desenvolvidos, a função do usuário deveria se limitar à supervisão, e não à entrada de dados ou à combinação de camadas. Além disso, existe um grande potencial para o uso de sistemas baseados em regras e sistemas especialistas, para auxiliar o produtor ou consultor a tomar decisões que são otimizadas para cada unidade de área.

MANGOLD (1995) cita produtores americanos que afirmam que o que eles necessitam no momento é o casamento de SAD, com a tecnologia da AP. Esses produtores já utilizam computadores com softwares de mapeamento e com modelos de crescimento de soja e algodão, como o Glycim e Gossym-Comax, por exemplo. Tais sistemas automaticamente carregam dados de sensores meteorológicos e executam simulações. Com isso, conseguem aproximar-se mais de valores adequados de recomendações de quantidades e de períodos de aplicação de insumos, melhorando significativamente suas produções. Segundo o autor, esses produtores necessitam de

modelos novos e melhorados para tratar a variabilidade espacial, para a seleção de sementes, para a recomendação de fertilizantes, para as práticas agrícolas, entre outros.

Chama a atenção para a necessidade de se permitir a intervenção humana nesses sistemas informatizados, dando ao usuário o controle, em vez de dar o controle ao computador. Critica o fato de que os programas atuais não permitem identificar a origem e o status dos dados usados nos mapas, sem falar na lógica utilizada em qualquer operação. Da mesma forma que numa planilha eletrônica, seria interessante poder ver, para cada mapa, quais equações e dados foram utilizados para gerá-lo. Afirma que a prescrição será feita provavelmente com uma combinação de modelos computacionais com a experiência agrônômica local; mas deveria, também, levar em conta o conhecimento e a opinião do produtor, a qual também é localizada (*site-specific*). Ainda com relação ao controle da operação, como o produtor tem a responsabilidade pelas conseqüências econômicas e ecológicas resultantes das atividades realizadas na fazenda, e não o sistema que as recomendou, justifica-se a necessidade de ele ter acesso aos dados, à sua origem, à lógica empregada, e também ter o controle sobre a decisão.

Segundo o autor, são necessários padrões para a arquitetura de dados, a sua aquisição, sua análise e aplicação. Outros aspectos importantes referentes aos dados são: segurança, propriedade (quem detém o controle, não a posse), exportabilidade, acessibilidade (pelo produtor, não apenas pelos especialistas), interpretabilidade (estabelecimento de *pools* de dados e conjuntos de modelos comuns para entender a variabilidade), aplicabilidade (integração com outros dados e modelos), inteligibilidade (origem dos dados e das expressões).

SCHUELLER (1992) apresenta num diagrama o fluxo de dados de um "potencial sistema de controle espacialmente-variável bem desenvolvido". O GIS seria o centro desse sistema integrado. Todos os dados seriam para ele transferidos, e lá seriam manipulados, gerenciados e então gerados os mapas de controle, que seriam posteriormente transferidos para os sistemas de atuação. A Figura 3.6 apresenta o diagrama proposto pelo autor.

Segundo o autor, as pesquisas científicas reportadas nesta área do gerenciamento são muito esparsas, e o que existe é geralmente descritivo, sem um desenvolvimento

algorítmico ou base teórica. O autor chama a atenção para que se evite na agricultura o que aconteceu na manufatura, com as "ilhas de automação", e para que isso não ocorra, o fluxo de dados precisa ser acuradamente modelado e otimizado.

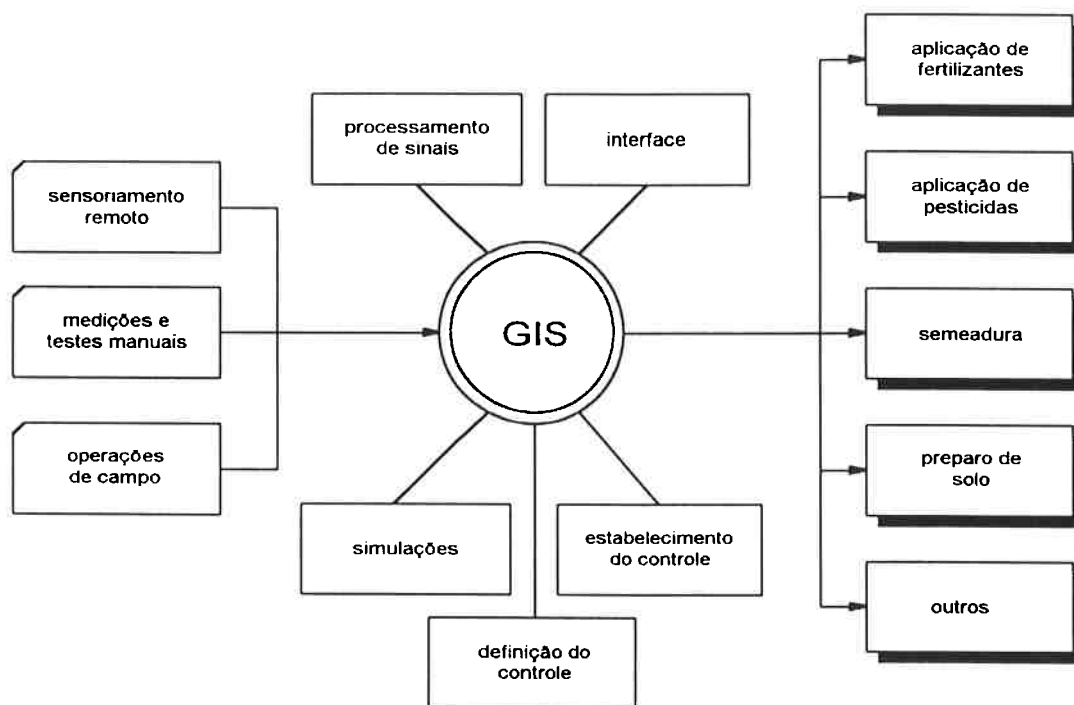


Figura 3.6 - Sistema de controle espacialmente variável, segundo SCHUELLER (1992).

A interface de operação dos sistemas tem sido muito negligenciada, provavelmente devido a necessidades mais urgentes, e devido ao fato de que os pesquisadores e os primeiros iniciados não se sentiriam desencorajados pelas dificuldades das interfaces. Todavia, para que ocorra o uso disseminado da tecnologia, necessita-se de significativos avanços, e interfaces deficientes podem ter um efeito negativo na aceitação do próprio conceito da AP. Deve-se considerar adequadamente o fator humano no projeto do sistema, em tarefas como a apresentação dos mapas, e na combinação de camadas em novos mapas, por exemplo. Também a entrada de decisões de gerenciamento deve ser facilitada permitindo, por exemplo, que o usuário interativamente possa modificar os limites das regiões de iso-valor dos mapas de aplicação, que foram gerados automaticamente.

A interface deve ser utilizada para ajudar o usuário a determinar a melhor estratégia de controle, permitindo-lhe testar diversos cenários. Como exemplo, o sistema deve também permitir a execução de simulações de modelos de crescimento de culturas, para testar e melhorar as decisões de manejo. Tais modelos deveriam estar contidos no sistema de gerenciamento, e ser exercitados com dados de clima para tentar-se entender as respostas de produção a diferentes estratégias de controle. O autor ressalva que a falta de modelos adequados e dados de entrada insuficientes são algumas áreas de problema, bem como o tempo de computação requerido para calcular as respostas de crescimento para cada ponto, sob diversas condições de clima.

Baseada nessas simulações e nas entradas do operador, uma estratégia de controle deve ser estabelecida, que otimize os aspectos econômicos e ambientais. Além disso, o algoritmo de controle deve considerar a acurácia e dinâmica do atuador. Finalmente, o mapa de atuação deve ser transferido para o equipamento de campo, e tanto a forma de transferência como o formato do algoritmo são pontos de discussão. Embora um algoritmo contínuo possa ser utilizado, é provável que uma tabela com os *set-points* baseada na posição no campo seja o formato predominante.

Com relação aos componentes do sistema e à forma como os dados são tratados, o autor afirma que é necessário haver uma padronização, de modo a permitir a troca de dados entre esses componentes e entre os sistemas. Cita os esforços de padronização de GIS pela ASTM (American Society for Testing and Materials).

JÜRSCHIK (1997) afirma que em virtude do modesto retorno financeiro que pode ser alcançado com a AP, uma manipulação dos dados eficiente e de custo compatível é fundamental. O autor discute métodos e ferramentas para aquisição de processamento de dados para AP e os progressos correntes.

É notável a variedade de dados, bem como o custo e o trabalho necessários para a aquisição e processamento desses dados. Como esses dados já são administrados por softwares de gerenciamento agrícola, a interface para acesso a esses dados já existentes deve ser considerada, pois eles são de interesse para a AP. Entre as possíveis interfaces, o autor cita as funcionalidades do MS-Windows, DDE e OLE, uma linguagem padronizada de pesquisa em bancos de dados, como a SQL (*Structured Query*

Language), ou o uso de algum padrão de troca de dados como o ADIS (*Agricultural Data Interchange Standard* - vide Capítulo 4).

Segundo o autor, o GIS é uma ferramenta fundamental para a administração e processamento de dados geo-referenciados, e deverá ser o pólo de integração das informações e da tomada de decisão. No entanto, trata-se de uma ferramenta nova para o produtor, e é necessário que se considerem seriamente questões relativas ao seu custo, ao tempo de aprendizado e a sua maneabilidade. São necessários desenvolvimentos das ferramentas em termos de funcionalidades, automação e interface de operação específicas para a aplicação.

O autor comenta a necessidade de métodos práticos para a determinação de quantidades de aplicação de nutrientes, para que possam ser incorporados nessas ferramentas, mas afirma que tais métodos devem estar disponíveis apenas a médio prazo.

Com relação à automação do processamento, a combinação de seqüências de passos é sugerida. Para facilitar essa tarefa, a identificação automática dos tipos de dados pelos nomes de arquivos ou pela estrutura dos dados seria útil. A partir dessa identificação, cadeias de processamento poderia ser automaticamente disparadas, seguindo listas de tarefas.

Como há diferentes usuários com diferentes habilidades e necessidades, a interface de operação deveria ser configurável. Para que isso seja possível, essa interface deve ser bem estruturada, baseada em recursos gráficos que guiem o usuário, e, muito importante, a funcionalidade típica dos GIS deve ser reduzida para o mínimo necessário ao usuário. Uma diferenciação dos sistemas para usuários mais avançados, como provedores de serviços e mesmo produtores mais capacitados, seria uma solução.

Todas essas razões explicam porque é relativamente difícil o desenvolvimento de sistemas de informações geográficas específicos para a AP, na opinião do autor. De um lado, os métodos a serem utilizados nas diversas operações ainda não estão estabelecidos. De outro, um alto gasto com programação é necessário para absorver a complexa funcionalidade necessária para esse software ter boa utilidade.

A despeito disso, há desenvolvimentos nessa área, e o autor cita sistemas das empresas Dronningborg e Claas, ambos partindo da existência de mapas de colheita. A primeira está lançando uma extensão de seu software de mapeamento de colheita, Yieldmap, já em versão Windows, extensão essa que permitirá obter mapas de aplicação. A segunda, em seu pacote Agromap, em sua versão Windows95, já incorpora tanto o mapeamento de colheita como a geração de mapas de aplicação. Em ambos é possível ao produtor editar os mapas, baseado em sua experiência ou em mapas de colheita existentes.

Um exemplo adicional do autor é o de um GIS específico para AP, o alemão FertiTopoL, que permite que o mapa de aplicação seja gerado com base numa ponderação de três outros mapas, conforme seu grau de influência na taxa de aplicação do insumo. Tal função, todavia, parece idêntica à disponível no PC-MAPS de MOTZ; SEARCY; NEUHAUS (1993) e WEI; GUAN; SEARCY (1995), anteriormente relatado.

Diversos programas estão disponíveis no mercado como ferramentas de apoio à AP. Muitas delas são pequenos programas que acompanham equipamentos de mapeamento de colheita, e que permitem uma primeira e rápida visualização do mapa realizado.

Tais programas permitem gravar (transferir) os dados de cartões PCMCIA para computadores, e produzir uma visualização na tela e uma mapa impresso da variabilidade da colheita. Todavia, esses mapas são de pouco valor para pesquisa e mesmo para o produtor (SWINDEL, 1997). Em primeiro lugar, porque são difíceis de interpretar; muitas vezes, mostram uma grande variabilidade. Em segundo lugar, mostram apenas um talhão por vez, e um mapa de cada talhão (cada colheita ou cada safra) por vez, o que dificulta a concatenação dos dados com regiões contíguas, ou de anos consecutivos, o que poderia facilitar a análise. Para executar essas tarefas, tais mapas devem ser exportados para outros sistemas, os quais devem ser compatíveis com os formatos gerados por tais programas. É o caso do Yieldmap (da MasseyFergusson), e do AgBrowser (da AGRIS).

Já há no mercado programas mais completos, específicos para a AP. Todavia, em geral, padecem de um ou mais dos seguintes problemas: não apresentam um conjunto amplo de funções de análise; não permitem que o usuário defina novas funções de análise; têm elevado custo; não permitem e/ou não possuem simulação de modelos; não permitem que o usuário saiba exatamente os métodos de processamento utilizado.

Uma iniciativa distinta é a da Agris (AGRIS, 1996). A empresa propõe o desenvolvimento de uma série de funcionalidades básicas encapsuladas como objetos de software, sob a denominação de AgObjects. Tais objetos poderiam ser utilizados por terceiros para compor com outros pacotes, ou poderiam ainda receber um conjunto crescente de funções, pela adição de novos objetos ao conjunto. Tudo isso seria possível pelo atendimento a um padrão de interface de acesso a esses objetos, o padrão OLE da Microsoft, e pela publicação das particularidades dessas interfaces para os AgObjects. Atualmente a empresa conduz uma série de oficinas de desenvolvedores interessados em seguir esse padrão proposto.

3.3 Uma análise crítica das experiências: tendências e necessidades futuras

Com base nas experiências e comentários dos diversos autores anteriormente expostos, alguns pontos devem ser ressaltados, procurando-se traçar um panorama das necessidades e dos desafios futuros para a constituição de sistemas integrados de apoio à etapa de gerenciamento na AP.

Uma primeira observação é a de que um sistema integrado é necessário, para fazer frente à multiplicidade de operações de manipulação e análise de dados envolvidos nessa etapa. Esse sentimento já se manifesta mesmo no meio dos pesquisadores, embora estes sejam usuários mais habituados a ferramentas mais precárias, desde que atendam às necessidades mais urgentes de pesquisa. Mas é em meio ao setor de produção agrícola que essa necessidade é uma condição *sine qua non* para a expansão da AP. Consultores, extensionistas, produtores, vendedores de insumos, são algumas das categorias potenciais de usuários para as quais o aparato computacional inerente à AP não pode, de nenhuma maneira, representar uma dificuldade a mais no já naturalmente complexo gerenciamento de precisão.

Embora o escopo e a abrangência desse sistema possa e vá variar significativamente conforme a aplicação específica a que se destine, o conceito importante é o de que deve ser um pacote coeso, de interface uniforme com o operador, e que inclua todas as funcionalidades necessárias para a tomada de decisão. Assim, não se deve falar num sistema de informações, mas numa classe de sistemas.

Posto que tal sistema é uma meta da AP, é mister avaliar as alternativas que a TI oferece para sua obtenção, à luz das experiências elencadas anteriormente.

O desenvolvimento de sistemas completos por uma única equipe foi a proposta de WEI; GUAN; SEARCY (1995), MOTZ; SEARCY; NEUHAUS (1993), e GOERING; HAN (1993). Estas foram iniciativas pioneiras e bastante relevantes. Os sistemas obtidos têm características interessantes e, dos dois, o PC-MAPS aparentemente tem uma vida mais longa, e é, até o momento, utilizado pela equipe de pesquisadores. Ambos têm abrangência funcional razoável, e têm interfaces de operação coerentes e uniformes para todas as funções, fruto desse desenvolvimento inteiramente proprietário.

Faltam em ambos determinadas funções importantes, como o suporte a simulações, interfaces diretas com equipamentos comerciais de coleta de dados e de aplicação de insumos, e uma maior quantidade de métodos de análise e processamento de dados.

Mais do que a falta dessas funções, todavia, é questionável a probabilidade desses programas virem a acompanhar a rápida evolução por que passa a AP, em termos de métodos, padrões, interfaces, novos equipamentos, entre outros. A flexibilidade, a expansibilidade desses programas estão amarradas a arquiteturas de software definidas pelos desenvolvedores, as quais dificilmente incorporaram conceitos mais atuais que pautarão a evolução do software doravante, os quais serão abordados no Capítulo 4.

Pode-se argumentar que tempo e recursos seriam poupados, se o trabalho dos autores tivesse sido baseado em módulos componentes pré-existentes. Esse argumento, todavia, pressupõe a existência de pacotes com as características necessárias, como, por

exemplo, sistemas GIS para PC; pressupõe ainda que eles oferecessem bom suporte à sua interligação com outros softwares.

Tais suposições aparentemente não se verificavam até poucos anos, como parecem comprovar esse fato as tentativas posteriores de EVANS; HAN; RAWLINS (1995), HAN; EVANS (1994) e HAN et al. (1995), que optaram pela integração de componentes. Além de esbarrarem na falta de suporte para essa interligação, ainda tiveram que desenvolver, em boa parte, funções já existentes no GIS, mas cujas interfaces foram consideradas inadequadas para o usuário. Além disso, as soluções obtidas por estes pesquisadores aplicam-se para problemas pontuais, para uma seleção particular de componentes de software, portanto sujeitas a restrições severas de flexibilidade e de manutenção.

Essa capacidade de evolução do sistema é essencial para acompanhar a evolução das pesquisas em AP e para permitir a constante atualização das técnicas, algoritmos, e softwares componentes.

Ao optar por basearem seu desenvolvimento num padrão de mercado, como a plataforma Windows e seus aplicativos mais básicos, SCHRÖDER; HANEKAUS; SCHNUG (1997), conseguiram um bom compromisso entre funcionalidade, interoperabilidade, custo e capacidade evolutiva do sistema.

É bastante provável que, com a evolução do mercado da AP, um componente básico nesses sistemas, o GIS, passe a incorporar cada vez mais ferramentas específicas para esta aplicação. Todavia, a interface genérica desse tipo de programa, a maior exigência que isso impõe sobre o usuário, e o custo extra a ser pago pelas funcionalidades não utilizadas, continuarão a ser problemas presentes. Outras alternativas têm surgido, como bibliotecas de funções GIS, ou ainda GIS escaláveis, isto é, com diversas opções de configuração, que oferecem diferentes conjuntos de funções e de complexidade. Embora essas alternativas possam evitar que se tenha que reprojeter essas funções básicas já disponíveis, o cerne da questão está noutro ponto.

Uma outra alternativa que o próprio mercado está paulatinamente proporcionando é a de sistemas comerciais específicos para a AP. Tais sistemas

começam a aparecer, porém uma primeira ressalva que se faz a eles é a falta de informação a respeito dos métodos que utilizam nos processamentos, e isto é essencial para que se possa entender os resultados, questioná-los. Numa fase inicial, como a que atravessa a AP, em que os métodos e parâmetros são questionados, ensaiados, avaliados, é essencial ter todo o controle sobre os dados e seu processamento. Também por esse motivo, parece pouco provável que algum pacote possa suprir toda a grande gama de métodos e interfaces necessárias para a fase de experimentação, que é a característica atual da AP. Senão pela complexidade potencial do sistema, no mínimo pelo fato de que componentes importantes como os modelos de simulação sempre serão desenvolvidos por terceiros (diferentes instituições de pesquisa agronômica, por exemplo), pode-se perceber que a questão da capacidade de interligação com outros pacotes continuará a ser um ponto crucial nesses sistemas. A análise de JÜRSCHIK (1997) confirma essas afirmações.

Independente da origem dos sistemas, comerciais ou desenvolvidos pela pesquisa, o cerne da problema parece estar no caráter fechado (proprietário) da maioria das iniciativas. A necessidade de evolução dos sistemas, a sua complexidade e a sua abrangência demandam uma capacidade de interligação com outros pacotes de terceiros.

Em razão disso, a alternativa que se apresenta é a da opção por sistemas abertos que se apoiem em padrões estabelecidos de interoperabilidade. Sistemas desenvolvidos com base nessa premissa poderão se interligar com componentes de terceiros, desde que estes também prevejam essa forma de intercomunicação. A questão do desenvolvimento ser basicamente uma integração de componentes, ou envolver todo o projeto e construção do sistema, passa a ser uma questão de opção em função de custos, disponibilidade de componentes, prazos, flexibilidade, etc. A opção sugerida pela Agris indica essa direção, embora possa-se questionar o grau de abertura do padrão escolhido e a falta de uma discussão mais ampla a respeito das necessidades do domínio da agricultura.

A necessidade de evolução e atualização do sistema deve ser vista tanto sob a óptica da evolução da AP, como da própria Tecnologia da Informação. Embora ainda incipientes, as possibilidades futuras de interligação de sistemas através da Internet, seja

para a coleta de dados, seja para processamento distribuído, são bastante reais na AP. Por exemplo, essa interligação poderia visar a execução de programas de simulação de modelos complexos, ou o acesso a bases de dados regionais ou globais. Uma adequada concepção e estruturação do sistema deveria levar em conta essas questões.

A interface de operação é um aspecto muito importante desse sistema. É, na realidade, um dos grandes motivos para a implementação de sistemas específicos para AP. Os sistemas proprietários obviamente têm como pressuposto uma interface coerente e única. Já sistemas implementados a partir de diversos componentes (e mesmo os módulos de terceiros incluídos em sistemas proprietários) devem ser unificados sob uma mesma interface, para evitar que o usuário se depare com interfaces diferentes e tenha que conhecer o modo de funcionamento de cada uma. Uma outra boa justificativa para essa integração das interfaces é a automatização de tarefas pré-definidas que envolvem seqüências de manipulações de dados entre os módulos, por exemplo. Essas "receitas" poderiam ser realizadas pelo sistema de maneira transparente para o usuário, poupando-lhe tempo e trabalho desnecessários. O grau de automação é uma questão a ser avaliada em função do perfil do operador e da sua necessidade de manter o controle sobre a operação.

À luz desses comentários, pode-se sintetizar algumas características desejáveis dessa classe de sistemas:

- deve implementar uma interface de operação única e coerente, adequada ao perfil do operador, eliminando a necessidade de ele conhecer diversos pacotes e suas formas de operação;
- deve possibilitar moldar a informação, conteúdo e formato, ao perfil do usuário;
- deve automatizar procedimentos de análise e manipulação de dados, seguindo receitas previamente avaliadas e validadas, evitando que o usuário tenha que conhecer cada técnica de análise e seus parâmetros; deve adequá-lo aos diversos usuários do sistema;
- deve eliminar a necessidade de se prepararem conjuntos de dados para execução em pacotes diferentes, automatizando essa troca de dados;

- por outro lado, deve permitir a interferência do operador no processo, de modo que este mantenha o controle sobre as operações;
- deve prover meios para o usuário ter acesso aos meta-dados, isto é, a dados sobre os dados, sobre sua forma de obtenção, as operações e os dados que o geraram;
- deve permitir que o usuário interfira nos resultados obtidos, inserindo suas impressões e conhecimento diretamente nos mapas, ou criando ele próprio suas receitas de análise; o usuário deve poder interagir com o sistema;
- deve possibilitar a simulação de cenários diversos, conforme a disponibilidade de modelos de simulação validados;
- deve ser implementado de maneira a facilitar a incorporação de novos módulos, receitas, acompanhando a evolução da área; deve ser expansível;
- deve ser aberto, implementado com base em padrões difundidos no mercado e/ou propostos por órgãos normatizadores de modo a facilitar a interligação com outros pacotes e fontes de dados, locais e distribuídos. Apenas desta forma se poderá fazer frente à complexidade e à dimensão que essa ferramenta pode alcançar, e, assim, constituir um sistema robusto e abrangente;
- deve ser baseado num prévio modelamento do problema, que proporcione uma compreensão do domínio e dos requisitos do sistema.

3.4 Considerações finais

Neste capítulo, foram analisadas diversas iniciativas e propostas de sistemas de informações para apoio à etapa de gerenciamento da informação. A grande diversidade das propostas, e das abordagens na solução do problema evidencia sua complexidade.

Em função das rápidas mudanças por que passa a AP atualmente, é essencial que os sistemas de apoio sejam flexíveis para se amoldar a essas mudanças.

Em função da complexidade e da abrangência do sistema de apoio à decisão ideal, é necessário que os sistemas a serem desenvolvidos atendam a padrões de software

que permitam sua interligação com outros programas. Dessa forma, se poderá compartilhar dados e processamento disponíveis de fontes heterogêneas.

Para a compreensão e o tratamento dessa complexidade e abrangência, métodos da engenharia de software devem ser utilizados. Este será o escopo do Capítulo 4.

CAPÍTULO 4

FUNDAMENTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO MOSAICO

4. FUNDAMENTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO MOSAICO

4.1 Introdução

No capítulo anterior, diversos exemplos e propostas de sistemas de informações foram analisados, e alguns de seus problemas puderam ser apontados. Dessa análise resultou uma série de sugestões sobre as características desejáveis para tais sistemas, de forma que possam cumprir a missão que se espera deles na AP, acompanhando a própria evolução dessa área.

Várias das conclusões a que se chegou, referem-se a questões que não estão restritas a este domínio agrícola específico, mas são problemas mais amplos, os quais têm sido o alvo da evolução da própria Tecnologia da Informação (TI) nas últimas décadas.

Muitos dos problemas detectados nos sistemas analisados devem-se ao fato de que foram desenvolvidos com a preocupação primeira de servirem de suporte à pesquisa inicial em AP. A urgência na sua obtenção, a menor preocupação com sua manuseabilidade (em função do próprio perfil do usuário desse sistema, o pesquisador), e a falta de uma visão mais ampla a respeito do potencial desses sistemas, justificam plenamente o que agora pode-se considerar como falhas desses sistemas.

Todavia, com a mudança do panorama da AP, e da própria TI, novas propostas de sistemas devem incorporar novos requisitos do domínio e também as novas tendências da tecnologia. Essa premissa vale tanto para sistemas que se destinem ao mercado, como para sistemas de apoio à pesquisa, que agora se situa num outro estágio, e não comporta mais a precariedade dos sistemas iniciais.

Essas tendências da TI surgem em várias frentes, apontam em direções bastante claras, e certamente distintas das verificadas há algum tempo.

O paradigma computacional dominante está se deslocando dos sistemas fechados para os abertos; dos sistemas isolados para os sistemas que interoperam em tempo real. Está se movendo dos aplicativos independentes fortemente empacotados, para ambientes de aplicação equipados com componentes de software que interoperam para prover capacidades mais flexíveis ao usuário, o *componentware*. Ao mesmo tempo, a

computação global está emergindo rapidamente, e o paradigma está se movendo para a computação baseada em redes. A Internet e outras redes provêem acesso a uma infinidade de fontes de dados e serviços para milhões de usuários. As vantagens de se usarem tais tecnologias são bastante evidentes para os usuários, que sentem a necessidade de integrar dados e recursos de processamento tanto no nível do seu computador (*desktop*), como através de redes locais e globais para obter uma completa operacionalidade do trabalho (OpenGIS CONSORTIUM, 1996a).

Segundo NORTH (1995), de fato pode-se ver na maturação da indústria da computação alguns paralelos com o *agribusiness*, no qual, nas nações desenvolvidas, uns poucos produtores suprem as necessidades de vários consumidores. Uma visão largamente aceita da indústria da computação é que haverá finalmente uma comunidade com poucos produtores (implementadores de objetos computacionais¹) suprindo muitos consumidores (usuários de objetos). Os consumidores serão os programadores e usuários diferenciados (*power users* - na expressão do autor) que construirão aplicações a partir da utilização de um estoque de objetos interoperáveis, antes de escrever código próprio ou antes de desenvolver objetos próprios para preencher lacunas de funcionalidade.

Essas mudanças têm sido causa e consequência de alterações da forma como se produz software e do tipo de software que se produz. Uma questão básica nessa mudança é a do próprio processo de desenvolvimento de software e dos métodos de trabalho. Nesse campo, diversos métodos foram propostos, apoiados em paradigmas bastante distintos. A questão da reutilização do software ganhou espaço, e junto com ela a questão da padronização, da interoperabilidade e dos sistemas abertos.

Nos próximos itens serão abordados alguns tópicos relativos ao desenvolvimento de software, os quais formam a base para o trabalho de modelamento realizado, procurando analisá-los sob a óptica das necessidades do domínio da AP.

¹ Para uma definição de objetos no sentido computacional, vide item 4.3.4.2.

4.2 Sistemas Abertos: conceitos e algumas padronizações de interesse

As mudanças rápidas e freqüentes na tecnologia da informação e nos negócios (nos domínios, como a agricultura de precisão) levam os usuários a buscar mais flexibilidade e uma melhor justificativa do custo dos seus sistemas de informação. É necessário um modo de acomodar essas mudanças sem, todavia, perder os investimentos já realizados na tecnologia.

A diversidade de plataformas existentes no mercado - tanto em hardware como em software - não pode continuar a ser um fator que demande trabalho e recursos replicados e redundantes no desenvolvimento de soluções que atendam a cada uma das plataformas. Tampouco a diversidade de usuários e suas necessidades específicas deve obrigar a esse esforço extra considerável.

A mudança para o que se tem chamado de sistemas abertos, é uma tendência que pode atacar essas questões e trazer benefícios tanto para usuários como para desenvolvedores de software e vendedores.

4.2.1 Conceitos sobre sistemas abertos

Como encontrado em DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION (DEC) (1991), embora haja uma certa dificuldade acerca do significado da expressão Sistema Aberto para as várias instituições e pessoas envolvidas com a matéria, uma definição abrangente é aquela adotada pelo comitê IEEE POSIX 1003.0².

Um sistema aberto é “um sistema que implementa um número suficiente de especificações abertas para interfaces, serviços, e formatos de suporte para permitir que softwares de aplicação adequadamente engendrados sejam portados entre uma vasta gama de sistemas com mudanças mínimas, interoperem com outras aplicações em sistemas remotos ou locais, e interajam com usuários num estilo que facilite a portabilidade do usuário”.

² IEEE - POSIX 1003.0 - *Guide to POSIX Open Systems Environment* - apud DEC (1991). POSIX - *Portable Operating System Interface*, trabalho de padronização realizado sob os auspícios do IEEE Technical Committee on Operating Systems (Comitê técnico em sistemas operacionais do Institute of Electrical and Electronic Engineers).

Uma “especificação aberta” é “uma especificação pública que é mantida por um processo de consenso público, aberto, para acomodar novas tecnologias através dos tempos, e que é consistente com padrões”.

Segue dessas definições que os sistemas abertos são baseados em especificações abertas, as quais são independentes de tecnologia, estão disponíveis para qualquer interessado, com igualdade de condições de acesso, e estão sob o controle de um fórum público, de sorte que todas as partes afetadas podem participar de sua evolução.

Diferentes entendimentos do significado do termo aberto têm sido percebidos na comunidade de TI, e é interessante comentá-los para perceber que são visões parciais do conceito acima expresso.

Uma idéia comum é associar sistemas abertos a um hardware ou sistema operacional padrão. Como exemplos, podem-se citar o PC-IBM e o MS-DOS. Embora essa padronização *de facto* contribua de certa forma para a portabilidade dos sistemas, muitos dos requisitos das aplicações atuais estão acima das tarefas do sistema operacional apenas. Este, por sua vez, é dependente do tipo e do número de processadores, por exemplo. Portanto, o caráter aberto está além e acima de apenas nível da implementação do hardware ou software.

De modo análogo, existe alguma confusão a respeito de sistemas abertos e redes. Embora as redes sejam partes importantes de sistemas abertos, elas são apenas parte da questão e da solução. Elas abordam questões de interoperabilidade, mas apenas tangenciam as áreas da portabilidade.

Um outro ponto de confusão é a respeito da disponibilidade da tecnologia ou de especificações, e sua relação com sistemas abertos. Uma enorme quantidade de software e hardware no mercado atualmente é dita aberta pelo fato de que é oriunda de várias fontes (como os PCs e seus múltiplos fornecedores), ou de uma única fonte, mas oferecida em várias plataformas (como o padrão Motif, o sistema operacional UNIX). Todavia, o controle sobre o licenciamento desses produtos e sobre sua evolução é totalmente uma questão apenas do proprietário da tecnologia, e não dá margem à participação dos interessados.

É importante ressaltar que iniciativas de desenvolvimento de especificações por empresas e organizações, que a princípio não se enquadram nas definições acima por não serem públicas, podem tornar-se abertas na medida em que o processo de manutenção da especificação passe a ser baseado num consenso público.

As características e benefícios (para os usuários) de sistemas abertos que justificam o seu potencial de vantagens podem ser resumidas da seguinte forma, de acordo com DEC (1991) e OpenGIS CONSORTIUM (OGC) (1996a), a despeito de alguma discordância com relação à nomenclatura:

- portabilidade de aplicações, de dados e de pessoal entre diferentes plataformas de hardware e software;
- independência de um ambiente particular de hardware ou software ou de um fornecedor;
- interoperabilidade de aplicações e sistemas;
- capacidade de integrar aplicações, informação, e sistemas de diferentes fontes em um ambiente coeso e produtivo;
- escalabilidade ou flexibilidade para mudar e expandir o ambiente computacional com as necessidades do tamanho da aplicação;
- extensibilidade ou capacidade de assimilar adições de funcionalidades.

A portabilidade possibilita que se possa utilizar novas tecnologias, preservando tanto o investimento realizado na tecnologia, como na geração dos dados, como ainda no treinamento efetuado para a equipe. Isso diminui os investimentos adicionais devidos ao processo de mudança.

A portabilidade confunde-se com a independência de ambiente e plataforma de software e hardware, e permite ao usuário escolher a melhor plataforma e o melhor fornecedor para cada problema.

A interoperabilidade e a possibilidade de integração decorrentes do paradigma aberto permitem que um determinado sistema seja composto de um conjunto de

subsistemas, eventualmente de diversas fontes, os quais operam em conjunto (i.e. cooperam) compartilhando dados e serviços ou ferramentas, de uma maneira útil e transparente ao usuário, permitindo também um grau de intercambiabilidade desses subsistemas.

Ambientes de aplicação escaláveis permitem um casamento flexível do conjunto de ferramentas às necessidades da aplicação. A configuração das ferramentas em ambientes escaláveis pode ser baseada na tarefa e nas características da aplicação, em vez do conteúdo arbitrário dos pacotes monolíticos de software do tipo “um tamanho serve para todos”. Tal foi, por exemplo, o problema enfrentado pelos usuários de GIS conforme abordado nos exemplos do capítulo anterior. Tais sistemas não escaláveis possuíam um conjunto muito grande de ferramentas, independente da necessidade do usuário. No caso específico da AP, a maioria dessas ferramentas não era necessária, e apenas sobrecarregava o sistema, sua interface e seu custo.

Sistemas extensíveis oferecem suporte à assimilação flexível de dados e software externos num ambiente de aplicação. Uma aplicação extensível é aquela cuja funcionalidade pode crescer à medida que os requisitos da aplicação amadurecem. Esta característica é fundamental na AP, em razão das grandes mudanças por que ainda está passando.

Sistemas diversos (no sentido de abrangentes ou intrinsecamente variados, do inglês *diverse*) suportam uma larga faixa de domínios de aplicação, seja por extensibilidade, seja pela riqueza inerente de funções nas ferramentas existentes.

Além dessas características, é importante ainda a da compatibilidade, que inclui a habilidade para acomodar sistemas legados (software e dados pré-existent) OCG (1996a).

Uma outra característica importante decorrente dos sistemas abertos é a do suporte à reutilização do software. SOLOMON (1995) afirma que a construção de sistemas que atendam a necessidades específicas pode ser feita a partir de software e hardware mais genéricos de terceiros, desde que atendam a uma arquitetura aberta.

Do ponto de vista da AP, essas características todas são altamente desejáveis, senão imprescindíveis para o sucesso da própria tecnologia. Para o usuário, a portabilidade é essencial para evitar o atrelamento a uma tecnologia em rápido processo de obsolescência, ao mesmo tempo em que preserva os investimentos a realizar. A própria natureza da AP implica em coleta e utilização a longo prazo dos dados e seria desastroso perdê-los ou ter que passar por um processo de conversão desses dados a cada novo ciclo tecnológico. (As margens de lucro e a capacidade de investimento do setor agrícola são, sabidamente, um fator crítico).

Ao mesmo tempo, uma quantidade enorme de dados já foi coletada em diversos formatos e de diversos tipos de dados, como dados de solos, de clima, imagens de satélite e a compatibilidade com esses legados deve ser buscada para facilitar sua utilização, quando necessária.

A interoperabilidade e a integração são igualmente fatores cruciais para os sistemas de informações para AP, como já apontado anteriormente. A sua complexidade e diversidade potencial impõem a integração de subsistemas oriundos de diversos fabricantes ou desenvolvedores, da indústria e das instituições de pesquisa agrícolas.

Num mercado altamente mutável, como tem sido o dos equipamentos e sistemas para AP nos últimos anos, a dependência do usuário em relação a um ambiente ou a um fabricante pode significar a posse de um sistema descontinuado do dia para a noite.

Do mesmo modo, a falta de consenso sobre os métodos a utilizar no processamento dos dados de campo demanda uma maior flexibilidade dos sistemas que lidam com esses dados, para acomodar as mudanças na própria aplicação, as quais continuarão a ser uma tendência num futuro previsível.

Finalmente, o objetivo básico dos sistemas de informações para AP é o de tornar viável tecnicamente a análise e o tratamento da variabilidade espacial, porém dentro de um ambiente computacional amigável, produtivo e coeso. Os sistemas abertos são uma possibilidade para essa integração, que dispense as tediosas tarefas de conversão de arquivos, que suprima o contato com pacotes e interfaces de operação heterogêneas.

Para que os sistemas abertos cumpram os benefícios aqui argumentados, um ponto importantíssimo a considerar é que eles também devem operar em conjunto com os inúmeros sistemas legados já existentes, preservando os investimentos já realizados.

As promessas dos sistemas abertos, todavia, provavelmente cairiam no vazio se apenas os usuários fossem seus beneficiários. Esse não é o caso, e pode-se elencar vantagens também para os fornecedores de sistemas e para os desenvolvedores de software DEC (1991). Basicamente elas se apoiam em pontos semelhantes.

Para os desenvolvedores:

- menor custo de desenvolvimento e de manutenção;
- suporte a várias plataformas de hardware de diferentes empresas, aumentando seu potencial de mercado;
- mais eficiência no suporte e assistência, graças a interfaces consistentes com diferentes plataformas de hardware;
- possibilidade de focalizar o desenvolvimento na funcionalidade, e não nas capacidades já padronizadas do sistema;
- menor risco de desenvolvimento, por não depender de uma escolha para uma determinada plataforma;
- possibilidade de certificação de conformidade com os padrões de sistemas abertos.

Para os provedores de sistemas:

- maiores oportunidades de mercado;
- menores custos de desenvolvimento, pela consistência dos recursos de desenvolvimento para várias plataformas;
- foco na adição de valor aos produtos em certas áreas de especialização;
- maior disponibilidade de software de terceiros;

- integração de novas tecnologias sem reduzir a base de aplicações;
- oportunidade de participar do processo de padronização e de ter acesso às especificações no momento oportuno.

O fundamento básico dos sistemas abertos, portanto, é o do atendimento de um conjunto de critérios e normas ou padrões comuns durante a especificação e construção do software OGC (1996a).

Todavia, a complexidade de sistemas e ambientes com as características citadas torna importante o uso de mecanismos de estruturação dessa especificação. O Modelo de Referência para Interconexão de Sistemas Abertos da ISO (*ISO Open Systems Interconnection Reference Model*), identificou como conceitos de estruturação chave, o uso de camadas contendo serviços com interfaces bem definidas, com os serviços sendo ainda divididos em módulos, distribuídos ou não NICOL; WILKES; MANOLA (1993).

Tal enfoque na estruturação em camadas e na orientação a objetos tem sido utilizado em diversos outros esforços e contextos de padronização de sistemas, não só em organismos oficiais de padronização, como a ISO e a International Telecommunication Union - ITU³, como também em importantes consórcios privados de padronização, como a Open Software Foundation - OSF, o Object Management Group - OMG, e o OpenGIS Consortium, entre outros.

Desta maneira, pode-se obter um alto grau de independência do sistema em relação ao sistema operacional, à linguagem de programação, ao ambiente de operação, ou à plataforma de computação distribuída (DCP - *distributed computing platform*) específicos de implementação.

Com base nessa estruturação, nas camadas superiores criam-se modelos mais abstratos do sistema, modelando fatos relacionados ao mundo real, assumindo condições ideais de implementação; e nas camadas inferiores, mais voltadas à implementação, criam-se modelos do software em ambientes específicos de execução. De fato, trata-se de vários níveis de padronização de hardware e software, cada qual construído com base nos serviços e definições oferecidos pelas camadas inferiores.

A vantagem do desenvolvimento de software baseado nesses padrões, especificados através do modelo em camadas, está no fato de que os desenvolvedores de aplicações podem concentrar seu trabalho na camada superior do software, uma vez que se apóiam na existência dos serviços oferecidos nas camadas inferiores.

Como consequência ganha-se em:

- portabilidade: pode-se escrever os programas para diversas plataformas, uma vez que se abstraem os níveis inferiores para considerá-los apenas nas fases de implementação;
- qualidade e produtividade: o trabalho baseia-se numa boa dose de reutilização de software já utilizado e testado (os níveis inferiores), com o consequente ganho no custo de desenvolvimento;
- adequabilidade: a concentração dos esforços no domínio da aplicação permite que o sistema seja mais bem trabalhado no que diz respeito ao atendimento às reais necessidades do usuário;
- extensibilidade: o sistema pode acomodar melhor novos requisitos da aplicação pela sua potencial melhor estruturação, bem como pode acomodar novas tecnologias à medida em que são incorporadas às camadas inferiores;
- escalabilidade: o sistema pode ser dimensionado para atender diferentes tamanhos da aplicação e sua base de dados;

Tendo em vista a complexidade potencial dos sistemas de informações para AP, ambos os paradigmas de sistemas abertos e de uma estruturação em camadas são adequados, ao mesmo tempo em que estão em consonância com a tendência atual da tecnologia.

Previamente ao desenvolvimento do modelo, entretanto, é fundamental avaliar algumas das iniciativas de desenvolvimento de especificações e de normas que se relacionam mais diretamente com a proposta deste trabalho, e que podem contribuir para o caráter aberto dos sistemas de informações para AP. Elas podem ser divididas, a

³ Ex-CCITT - Comitê Consultivo Internacional de Telefonia e Telecomunicações.

grosso modo, em iniciativas ligadas à tecnologia da informação de uma maneira geral, e em iniciativas ligadas a aplicações da TI a agricultura, e são brevemente apresentadas a seguir.

4.2.2 Padronização em geoprocessamento: OpenGIS

Pela própria natureza da AP, o processamento de informações espacialmente referenciadas, ou geoprocessamento, é de capital importância e está no centro dos sistemas de informações a ela dedicados.

A comunidade ligada ao geoprocessamento tem enfrentado alguns dos problemas apontados atualmente para a AP, e na tentativa de superá-los surgiu o OpenGIS Consortium - OGC, uma entidade privada que congrega todos os setores ligados ao geoprocessamento, principalmente a indústria de software e serviços, incluindo as mais importantes empresas da área, mas também universidades e órgãos governamentais.

A percepção dos envolvidos nas várias áreas ligadas ao geoprocessamento, como sistemas GIS, sensoriamento remoto, mapeamento automático e gerenciamento de instalações, análise de tráfego, sistemas de geoposicionamento e outras tecnologias geoespaciais, é de que todos caminham para um processo de rápida integração (OGC, 1996a). Uma evidência desse fenômeno é a rápida disseminação do uso e o surgimento de novas aplicações do sistema GPS, do lazer à segurança.

Entretanto, a realidade do geoprocessamento apresenta entraves a essa integração de disciplinas, aplicações e produtos.

Os sistemas de geoprocessamento têm sido chamados monolíticos ou fechados. Isto é, eles foram desenvolvidos numa época em que a abertura do software não era possível, pois não havia ainda um ambiente rico em serviços de sistema padronizados que servisse de base. Em função disso, tiveram que desenvolver esquemas proprietários para funções como interface com o usuário, exibição, comunicação e armazenamento de dados, entre outros. Até muito recentemente, esses resquícios da era dos sistemas auto-contidos e proprietários dominaram o mundo do geoprocessamento.

As organizações que utilizam aplicações tradicionais de geoprocessamento e outras aplicações tradicionais de TI tipicamente têm diversas aplicações monolíticas,

freqüentemente dependentes de plataforma, com habilidade limitada para compartilhar dados e recursos computacionais. Frequentemente, há redundância de funções e de bases de dados entre as aplicações, e os requisitos de treinamento são excessivos, em virtude da diversidade de interfaces de operação. Essas aplicações pecam pela falta de recursos para acomodar com facilidade novos métodos e tipos de dados à medida em que se tornam disponíveis.

Todas essas limitações reduzem grandemente o potencial da tecnologia de geoprocessamento.

Em resposta a esse problema, o consórcio propôs a OGIS - *Open Geodata Interoperability Specification*, ou Especificação Aberta de Interoperabilidade de Geodados⁴. Essa especificação "representa o pensamento de profissionais das áreas de ciência da computação e modelamento de geodados de diversas empresas que se reuniram para colaborar na construção de uma fundamentação técnica para: 1) resolver os problemas críticos atuais de compartilhamento de geodados, 2) tirar o geoprocessamento de seus ambientes de processamento monolíticos e desatualizados e de suas bases de dados fechadas, e trazê-lo para o mundo da computação distribuída e do *componentware* que se expande rapidamente" (OGC, 1996a).

O objetivo da OGIS é fornecer uma estrutura para os desenvolvedores de software, de modo que os sistemas a serem desenvolvidos sobre essa base comum, permitam a seus usuários acessar e processar dados geográficos de uma variedade de fontes, através de uma interface computacional genérica, e em meio a uma fundamentação de tecnologia da informação aberta. Além disso, os sistemas de software desenvolvidos de acordo com essas especificações serão interoperáveis e poderão mesmo ter uma certificação de conformidade (FATOR GIS, 1997).

A estrutura da especificação é composta de:

⁴ Geodados, ou dados geográficos, são dados que representam fenômenos direta ou indiretamente associados com uma localização relativa à superfície da Terra. Têm sido coletados em forma digital há mais de 25 anos. Ao longo desse período, diversos métodos de aquisição, armazenamento, processamento, análise, e exibição desses dados foram desenvolvidos de maneira independente entre si. O governo dos EUA gasta anualmente mais de US\$ 4 bilhões em conversão de dados.(OGC, 1996a)

- **Modelo de Geodados Aberto:** é um meio comum para representar digitalmente a Terra e seus fenômenos, matematicamente e conceitualmente. Ele define um conjunto geral e comum de tipos básicos de informações geográficas, que podem ser utilizados para modelar os geodados de domínios de aplicações mais específicos como, por exemplo, a agricultura de precisão.
- **Modelo de Serviços OGIS:** é um modelo de especificação comum para implementar serviços para acesso, gerenciamento, manipulação e representação de geodados; ou seja, para acessar e processar os tipos de dados definidos no modelo de geodados. Permite, também, o compartilhamento desses dados por comunidades de usuários que utilizem as mesmas definições de características geográficas, e ainda permite a tradução dos dados entre diferentes comunidades que adotem diferentes definições dessas características.

O Modelo de Serviços descreve serviços cliente/servidor que possibilitam a transferência de dados através das interfaces OGIS, e outros serviços e construções de software que implementam conceitos no Modelo de Comunidades de Informação.

- **Modelo de Comunidades de Informação** - é um esquema que usa os dois modelos anteriores para resolver não só os problemas técnicos de interoperabilidade, mas os problemas institucionais de interoperabilidade. O Modelo de Comunidades de Informação é um conjunto de conceitos que forma a base para que cada comunidade defina, mantenha e compartilhe as definições das características geográficas de seu interesse.

É ainda um meio para o compartilhamento desses dados, permitindo a tradução automática. Por exemplo, agrônomos, geólogos e engenheiros civis podem compartilhar dados de solo, embora adotem classificações diferentes para o solo. O modelo define um esquema para a tradução automática entre diferentes léxicos de características geográficas.

O modelo de geodados aberto consiste em três camadas (*three tiered*), com três níveis conceituais, denominadas Modelo Essencial (ou abstrato), Modelo de Especificação e Modelos de Implementação.

A especificação como um todo é baseada em orientação a objetos e o método de modelamento incluirá os diagramas OMT (*object modelling technique* - técnica de modelamento por objetos de RUMBAUGH et al. (1997)), como principal notação para o Modelo Essencial (OGC, 1996b). Outros recursos serão utilizados na especificação, como diagramas de estado de Harel, teoria de conjuntos formal e linguagem natural.

O Modelo Essencial apresenta os fatos e objetos do mundo real em uma visão estática, enquanto o Modelo de Especificação apresenta uma visão dinâmica dos mesmos objetos e eventos ideais. Haverá diversos Modelos de Implementação, um para cada ambiente específico de computação, nos quais serão apresentados os objetos nesses ambientes de execução, com todos seus detalhes de tipos, estados, e formas de comunicação com outros objetos.

A OGIS deverá conter os Modelos Essencial e de Especificação como parte central. Eles fornecerão uma representação detalhada de software, o suficiente para caracterizar virtualmente todos os fenômenos espaciais e temporais, mas permanecerão abstratos o suficiente para serem implementados em todas as plataformas. Descrevem o que deve ser implementado, sem, no entanto, detalhar, em termos de linguagem ou plataforma, como o software deve ser implementado.

Além deles conterà ainda Modelos de Implementação para diversos ambientes de computação, que deverão ser as diferentes plataformas de computação distribuídas em desenvolvimento no mercado - as DCPs⁵. O fato de estarem presentes no consórcio empresas que adotam as mais diversas DCPs proporciona uma igualdade de tratamento nas camadas mais abstratas, e uma independência desse nível de implementação. As especificações de implementação para cada uma das plataformas são feitas em conjunto

⁵ DCP - *distributed computing platform*. São os padrões de computação distribuída existentes e/ou em desenvolvimento no mercado, como CORBA (*Common object request broker architecture*), do Object Management Group (OMG), e o associado modelo de componentes OpenDoc, do CI Labs Consortium; OLE/COM (*Object Linking and Embedding/Common Object Model*), da Microsoft; DCE (*Distributed Computing Environment*), da Open Software Foundation (OSF); Java, da SunSoft.

com essas empresas, as quais também participarão da implementação de projetos piloto para cada DCP. A Figura 4.1 ilustra esse fato.

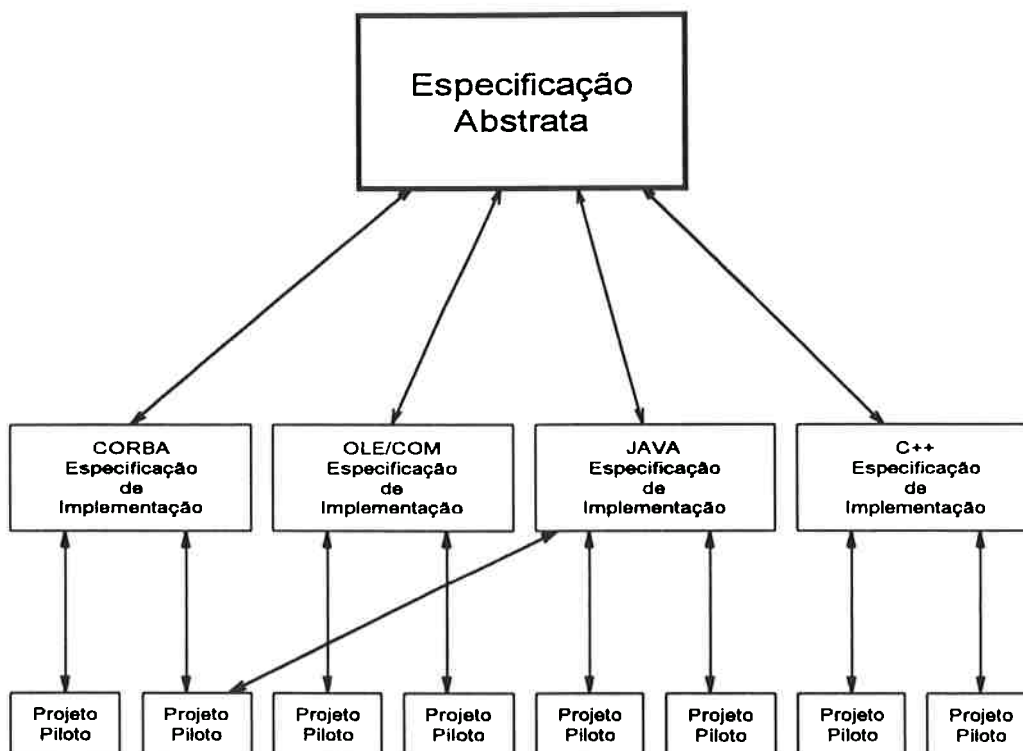


Figura 4.1 - OGIS: da especificação abstrata aos projetos piloto para cada DCP. Fonte: OGC (1996a).

Pretende-se que a enorme quantidade de sistemas e dados legados sejam preservados. Estes deverão ser trazidos à conformidade por meio de encapsulamento, e serão acessados via software com interfaces OGIS. A Figura 4.2 ilustra a proposta.

No mais alto nível conceitual, padronizações específicas por domínio de aplicação, como as da agricultura, promoverão a correção de aplicações interoperantes. No caso da OGIS, este papel é o desempenhado pelas Comunidades de Informação.

A OGIS provavelmente deverá ter um papel determinante na mudança de paradigma no geoprocessamento a médio prazo, uma vez que é uma iniciativa que partiu das próprias empresas de software e, portanto, deverá ter seu respaldo em termos de adoção e implementação. Provavelmente, deverá tornar-se um padrão *de facto*, antes de um padrão *de jure*.

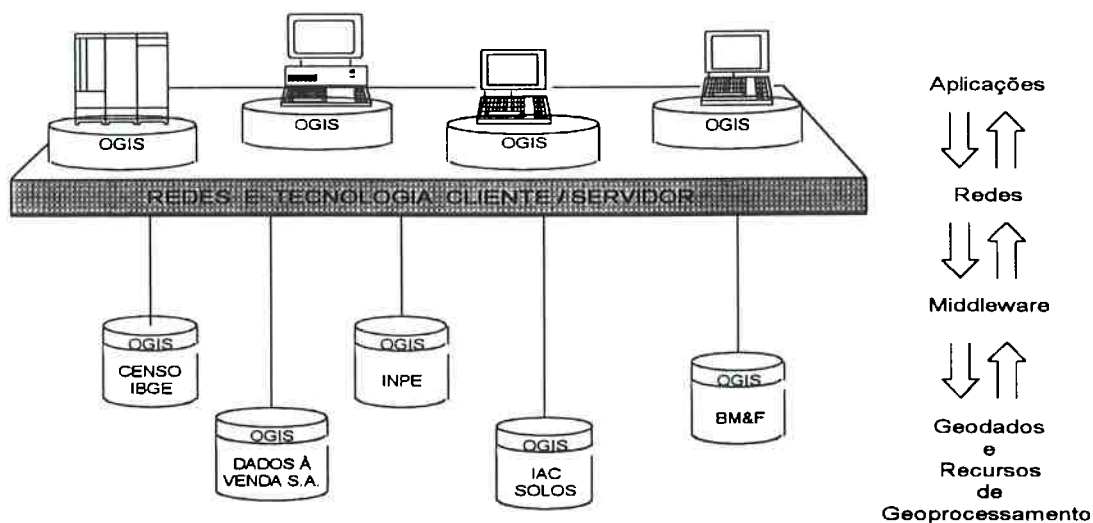


Figura 4.2 - Interoperabilidade em vários níveis: em aplicações em redes locais, em redes *wide-area*, e em aplicações *desktop*. Interfaces OGIS permitirão inclusive o acesso a sistemas legados. Fonte: OGC (1996).

A OGIS tem grande importância no desenvolvimento do MOSAICO. Ela reforça a opção por um paradigma aberto de software como caminho para a solução de muitos dos problemas encontrados atualmente na AP. Também a estrutura de um modelo em camadas adotada na OGIS deve ser levada em conta, partindo-se, portanto, da premissa de que a interoperabilidade em camadas inferiores, no nível das plataformas (dentro de uma mesma plataforma e entre elas), será uma questão a ser resolvida pelo mercado, o que efetivamente está acontecendo.

A OGIS vem reforçar a tese de se concentrarem os esforços deste trabalho de modelamento na definição dos aspectos do domínio da aplicação, abstraindo-se neste momento as questões de implementação. Nesse sentido, o MOSAICO se encaixa no nível das Comunidades de Informação, uma vez que aborda a definição da semântica da AP: definições de classes de características, atributos, relações de dependência entre eles.

Reforça ainda a opção pelo modelamento por objetos, não só por suas qualidades inerentes e adequadas ao problema (a serem discutidas adiante), mas pela própria vantagem de se utilizarem métodos semelhantes aos utilizados nas próprias padronizações, no caso a notação OMT de RUMBAUGH et al. (1997).

Finalmente, vem reforçar a noção de que é possível o desenvolvimento de aplicações mais adequadas ao domínio da AP com base na interoperabilidade de software, e que a especificação que surgirá deste trabalho poderá ser implementada num médio prazo, dentro desse novo cenário de uma OGIS.

4.2.3 Padronização no domínio agrícola: ISO e A*E*A

Assim como a comunidade de geoprocessamento se mobilizou em torno do OpenGIS Consortium, um movimento semelhante ocorreu com os profissionais ligados à eletrônica agrícola num sentido amplo.

Como consequência, duas entidades coordenam atualmente atividades relacionadas ao desenvolvimento de especificações e normas voltadas a sistemas computacionais e eletrônicos aplicados à agricultura: a ISO - *International Organization for Standardization*, e a A*E*A - *Agricultural Electronics Association*.

A ISO, através de seu comitê técnico 23, sub-comitê 19, denominado Eletrônica Agrícola (ou ISO TC23/SC19 - *Agricultural Electronics*), tem sido o principal foro dessas atividades. Nesse comitê, quatro grupos de trabalho dividem, no momento, as atribuições de elaborar propostas de normas para questões como “Comunicação de dados em equipamentos móveis agrícolas”, e “Intercâmbio de dados eletrônico entre sistemas de informações na agricultura”, entre outros.

Um resultado concreto do trabalho desses comitês foi a aprovação da norma ISO 11787: 1995, *Machinery for Agriculture and Forestry - Data interchange between management computer and process computer - Data Interchange Syntax* (ISO, 1995). Essa norma, também conhecida como ADIS (*agricultural data interchange syntax* - sintaxe de troca de dados agrícolas), lançou as bases para que fosse padronizada a troca de dados entre computadores na área de agricultura, mais especificamente, entre um computador de gerenciamento e um computador de processo na fazenda.

A necessária continuidade dessa norma é a definição de um conjunto padronizado de elementos de dados, que tem sido chamado de ADED (*agricultural data element dictionary* - dicionário de elementos de dados agrícolas), que tem por objetivo

estabelecer uma terminologia comum para a troca de dados. O dicionário de elementos de dados agrícola apresenta uma descrição desses elementos de dados padronizados.

A Descrição Geral⁶, parte I da padronização dos elementos de dados - ADED - já se encontrava na fase de votação em outubro de 1997. Nesse documento é descrita a estrutura geral de um dicionário de elementos de dados agrícolas, são listados os atributos dos elementos de dados e entidades, e é apresentada a estrutura do cabeçalho utilizado em todas os arquivos de trocas de dados. Em documentos futuros da mesma norma serão descritos dicionários de elementos de dados específicos para os diferentes campos de aplicação dentro da agricultura. Já estão previstos dicionários para as áreas de produção de leite (parte 2 da norma), suínos (parte 3), aves (parte 4).

A parte 5 da norma, relativa a aplicações estacionárias não ligadas à produção animal, provavelmente é a que acomodaria os dicionários de dados de interesse para a AP. Todavia, aparentemente não há nenhuma iniciativa em curso nesse sentido. Ao mesmo tempo, a orientação dada à proposta da Descrição Geral do ADED, em fase de votação, bem como do ADIS já aprovado, veio da indústria europeia de equipamentos para produção de leite, e não necessariamente atende as necessidades de área tão dispar quanto é a AP.

Uma outra área de trabalho dentro da ISO é a da comunicação serial entre computadores agrícolas em aplicações móveis, como, por exemplo, tratores, colhedoras, máquinas e implementos. Agrupadas sob a denominação *Tractors, machinery for agriculture and forestry - Serial control and communications data network* (ISO, 1994), as atividades nesta linha encontram-se no estágio de *committee draft* - CD, ou seja, as propostas de normas ainda estão em fase de tramitação pelos comitês.

Esse conjunto de propostas tem interesse para agricultura de precisão na medida em que poderão vir a determinar a forma como os equipamentos de coleta de dados e os equipamentos controladores de aplicação instalados em veículos agrícolas se comunicarão entre si e com um computador de gerenciamento. Essa interligação, mesmo com computadores localizados fora do veículo, será necessária para a recuperação de

⁶ ISO/FDIS - 11788-1:1997(E) - Agricultural Data Element Dictionary; Descrição Geral, parte 1 da proposta de norma. Conforme correspondência da A*E*A recebida pelo autor.

dados coletados e/ou para a transferência de parâmetros de controle da aplicação em taxa variável.

Nesta atividade, não há aparentemente uma dissidência norte-americana, como aquela conscientemente adotada em relação à ADIS.

De fato, essa divergência surgiu a partir da proposta de uma outra instituição, a A*E*A, de desenvolver, de maneira independente, uma padronização de dicionários de dados específicos para a agricultura de precisão.

A A*E*A é uma organização formada em 1995, constituída inicialmente por indústrias de equipamentos eletrônicos para a agricultura, mas que congrega também órgãos e instituições interessados na evolução dessa área, como universidades e órgãos de pesquisa. Sendo basicamente norte-americana, está também a cargo das posições dos EUA nos comitês da ISO anteriormente citados.

O maior desenvolvimento que a AP e sua indústria apresentam naquele país, mesmo se comparado com a Europa, pode eventualmente justificar a diferença de ênfases na proposta de padronização de sistemas computacionais agrícolas.

A A*E*A optou por não seguir as deliberações contidas na ADIS, e partir para uma implementação independente de dicionários de dados para a AP, em função das necessidades urgentes dos fabricantes norte-americanos. Estes têm enfrentado sérios problemas de interligação de equipamentos, da falta de padrões, e das pressões dos usuários não só por equipamentos para AP, mas por eletrônica agrícola em geral. Embora reconhecendo que o processo da ISO é mais estruturado e aberto, ele também é mais demorado, e não parece ser a prioridade de outros países com participação naquela instituição, majoritariamente europeus.

O resultado desse esforço já começa a aparecer na forma de uma versão preliminar (*draft document*) de um dicionário de dados de colheita AGRICULTURAL ELECTRONICS ASSOCIATION (AEA) (1997a) e outro de fertilidade de solo (AEA, 1997b) já lançados, e de um dicionário de dados de planejamento de aplicação de produtos, em fase adiantada de elaboração. Esses documentos não têm a força de

normas, mas poderão vir a se tornar padrões *de facto*, em razão do poder das empresas que sustentam a iniciativa.

Os dicionários de dados de colheita e de fertilidade de solo provêm um conjunto de termos, definições e especificações de formatos para dados de colheita e de fertilidade do solo, a fim de facilitar o compartilhamento desses dados.

Visando facilitar o intercâmbio desses dados, a A*E*A optou por adotar, como padrão de troca de dados geográficos, o SDTS - *Spatial Data Transfer Standard*, adotado pelo governo dos EUA como *Federal Information Standard 173*.

Embora a entidade alegue que os dicionários podem ser implementados de qualquer outra maneira, e utilizados para intercâmbio dinâmico segundo outros padrões, uma ênfase grande é colocada na implementação segundo a estrutura do SDTS.

Aparentemente, a decisão de adotar esse padrão de intercâmbio de dados ignora o OGIS do OpenGIS Consortium, que inclusive cita o SDTS como "um dos muitos formatos de intercâmbio... que representam a abordagem pré-OGIS para interoperabilidade" (OGC, 1996a). A decisão tem causado polêmica, pois o padrão apresenta alguns inconvenientes, como sua complexidade, e não é mais difundido que outros existentes.

DROLLINGER e McCAULEY (1997) resumem os esforços de padronização correntes nessa área, realizados sob os auspícios da A*E*A e de outras associações de fabricantes de equipamentos (como os da construção civil). Abordam as necessidades de padronização: da comunicação entre pacotes de software num computador de gerenciamento; da comunicação desse computador de gerenciamento com computadores de tarefa (*task computers*) localizados nos veículos (como os tratores); da comunicação desses computadores de tarefas com os equipamentos de controle dos implementos e máquinas. A Figura 4.3 ilustra a arquitetura de hardware e software proposta.

Para a comunicação entre trator (computador de tarefa) e implemento (controlador de implemento), o padrão sugerido é a rede serial SAE J1939 e seu correspondente ISO 11783, anteriormente citado. A comunicação entre computador de

gerenciamento e computador de tarefa (localizado no veículo) seria baseada em *drivers*, via de regra fornecidos pelos fabricantes dos computadores de tarefas e pelos fabricantes de controladores de implementos. Estes seriam integrados ao software de gerenciamento e fariam a necessária conversão dos dados que devessem ser trocados: os *drivers* de controladores cuidariam da tradução do conteúdo dos dados, de forma que sejam entendidos pelos controladores, e poderiam ignorar os dados espaciais; já os *drivers* de computadores de tarefas cuidariam dos formatos dos dados, sem mexer no conteúdo dos atributos, e fariam por exemplo a conversão de formatos *raster* para *vector*, para compatibilizar com o computador de tarefas.

Já para a cooperação entre os pacotes de software dentro dos computadores de gerenciamento há necessidade de um enfoque amplo de sistema para identificar os requisitos. Esse enfoque ainda não é objeto da ação das instituições que, no momento, abordam apenas uma parte do problema. Foi identificada como uma das necessidades mais imediatas, a dos padrões para troca estática e dinâmica de dados georreferenciados. Para a troca estática foi proposto o já mencionado padrão SDTS, enquanto para a troca dinâmica, isto é para comunicação entre processos de software (IPC - *inter-process communication*), o mesmo SDTS poderia servir de base para um novo padrão. Isto porque o SDTS é uma especificação de formatação orientada a arquivo e não é adequado para IPC, segundo os autores. Como os dicionários de dados são um ponto básico para a troca de dados, o trabalho de padronização iniciou-se por eles.

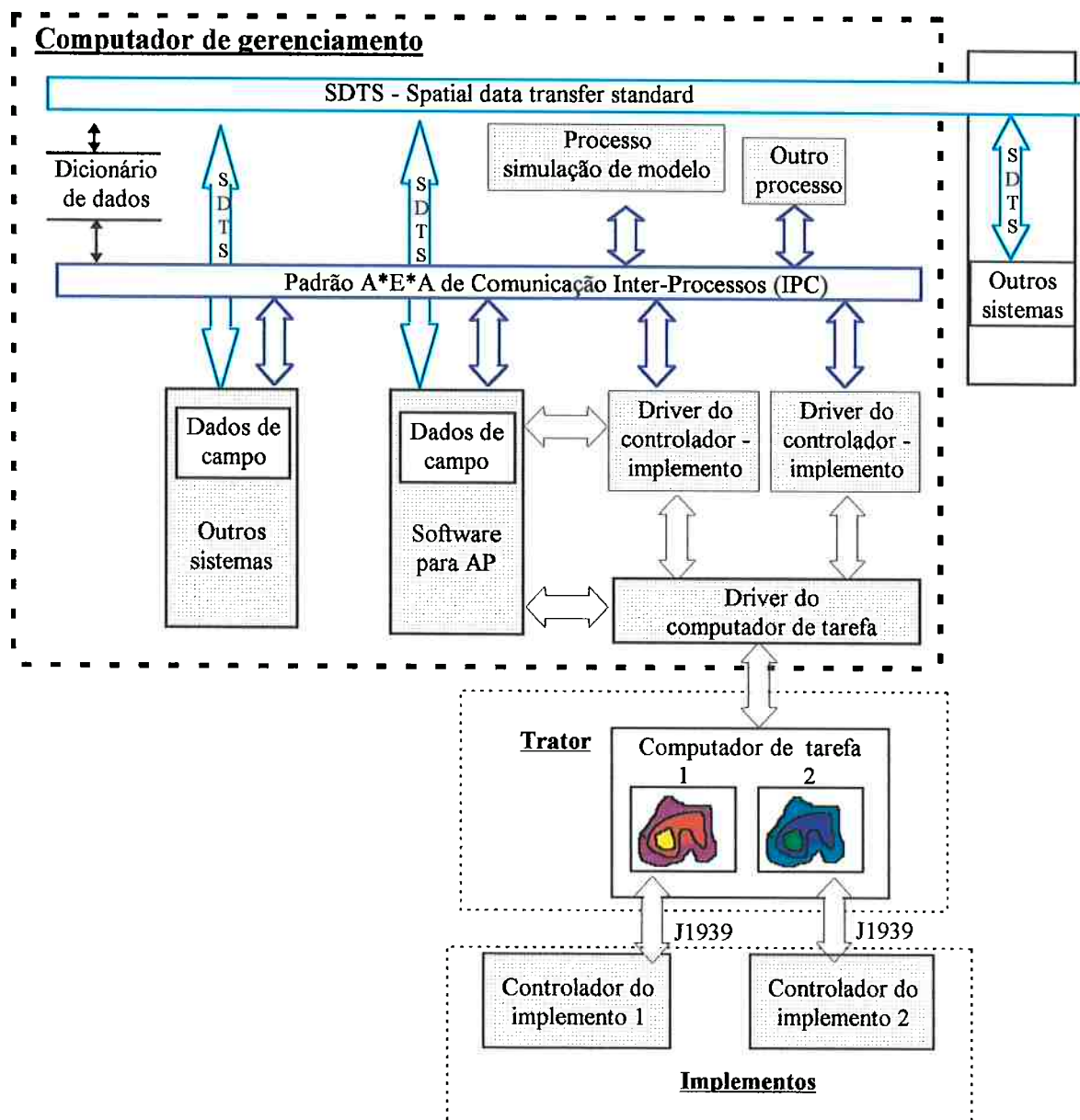


Figura 4.3 - Arquitetura de hardware e software proposta pela A*E*A. Fonte: DROLLINGER; McCAULEY (1997).

Agris, uma empresa que desenvolve software para agricultura em geral e mais recentemente para AP, informalmente propôs à A*E*A um padrão para IPC entre componentes de software de gerenciamento agrícola. A proposta baseia-se em interfaces de automação OLE da Microsoft, e consiste de uma coleção de servidores OLE denominados AgObjects. As interfaces de automação OLE desses objetos de software (vide conceitos de objetos no item 4.3.4.2) tiveram suas propriedades e métodos publicados para permitir que terceiros possam estender o conjunto de objetos ou utiliza-los (AGRIS, 1996, e MACY; DONDERO, 1996).

Cinco classes básicas de objetos estão incluídas nos AgObjects - entidades, terra, produto/inventário, equipamento e documentos genéricos.

Essas iniciativas são bastante importantes para este trabalho.

Por um lado, elas contribuem para a definição das características do domínio da AP, que são de interesse para os sistemas de informações abertos, e sugerem definições e formatos desses parâmetros. Esse processo de definição dos dicionários tem contado com especialistas de diversas áreas e representa um grande esforço; por isso mesmo, é uma contribuição valiosa. Tais iniciativas representam, dentro da visão da OGIS, o papel da definição das Comunidades de Informação, definindo os conteúdos específicos por domínio.

Por outro lado, as claras divergências existentes entre A*E*A e ISO, e entre A*E*A e OpenGIS, refletem a dificuldade do consenso, particularmente quando os objetivos são mais amplos para uns (ISO e OpenGIS) e mais estreitos ou imediatos para outros (A*E*A). Embora essas divergências não afetem este trabalho no nível de um modelo mais abstrato, como aqui é proposto, será necessário optar por uma das correntes numa fase seguinte de implementação.

Ao mesmo tempo surgem propostas como as da Agris, que embora baseadas em padrões *de facto* de mercado, não garantem a necessária abertura na medida em que se colocam como reféns de um fabricante específico de software, a Microsoft; tampouco refletem uma visão sistêmica ampla como base para a definição das classes básicas em que se apoiam. Ainda assim evidenciam o caminho que o mercado por si está tomando, o dos sistemas (um pouco mais) abertos, como reflexo da urgência pelo compartilhamento e pela compatibilidade de dados e serviços.

4.3 Paradigmas da Engenharia de Software

O processo de desenvolvimento de software tem passado por mudanças profundas. Nestes itens seguintes são abordados alguns tópicos da Engenharia de Software que orientam este trabalho, como a questão da necessidade de um método de trabalho e sua seleção dentre os enfoques existentes, o ciclo de vida do software e a

conveniência da ênfase nas fases iniciais, e o modelamento como ferramenta para o desenvolvimento de sistemas.

4.3.1 Desenvolvimento de software e método

Ao longo destas décadas da era do computador, a importância relativa do software dentro de um sistema computacional mudou significativamente. No início, o principal problema era o do desenvolvimento do hardware, com toda a dificuldade e limitação tecnológica, e o alto custo envolvido. Obviamente, o software estava grandemente limitado pelo hardware, e não arcava com o ônus principal das dificuldades de então.

Hoje o problema mudou. O custo do hardware caiu bastante em termos absolutos, ao mesmo tempo em que a capacidade de processamento dos computadores aumentou muito. Para isso contribuiu uma série de fatores, entre os quais pode-se apontar o caráter industrial do desenvolvimento do hardware, que se apoiou em métodos e formas organizadas de trabalho para vencer os desafios.

Isso não significa que a atividade de desenvolvimento de hardware seja isenta de problemas, ou mesmo que seja bastante homogênea em termos de resultados e qualidade. De qualquer maneira, a estreita relação que há entre o software e o hardware tem levado a reiteradas comparações sobre a forma como cada uma destas atividades tem evoluído, com clara desvantagem para o software.

Segundo JACOBSON et al. (1993), o rápido desenvolvimento da indústria de software, e sua relativa juventude, contribuíram para que ela ainda não tenha atingido o nível de maturidade de outros ramos da indústria. Conseqüentemente, os produtos desenvolvidos sofrem pela falta da aplicação das práticas requeridas, para que sejam desenvolvidos e explorados como produtos comerciais.

O fato concreto é que o desenvolvimento de software passou por fases evolutivas e crises, que resultaram num questionamento da forma artesanal com que muitas vezes essa atividade se realiza ainda hoje. A ênfase no aspecto criativo, no equacionamento lógico do problema, que muitas vezes se dá em detrimento de uma organização do trabalho, tem sido posta em cheque. Dessas discussões têm proliferado critérios, formas,

métodos para que a atividade de desenvolvimento de software, que já é uma indústria que mobiliza vultosos recursos em todo mundo, atinja patamares mais altos de qualidade e organização, a exemplo de diversos outros ramos da indústria.

A questão da qualidade do software toma grande importância atualmente. Cada vez mais, procura-se estudar e desenvolver procedimentos, métodos, métricas que auxiliem no desenvolvimento do produto software com qualidade. Essa preocupação é tanto maior quando se percebe que o software ultrapassou o hardware na capacidade de diferenciação de muitos produtos ou sistemas baseados em computador (PRESSMAN, 1995). É bastante freqüente que sejam o software, sua inteligência, sua interface mais amigável, sua capacidade de resolução de problemas e de fornecer dados corretos e oportunos, o que diferencia dois produtos de características semelhantes. Isso é particularmente mais evidente quando os ambientes de hardware estão razoavelmente padronizados e apoiados em plataformas de mercado.

Aos longo desses anos, com toda essa demanda, passou-se a dar valor a métodos sistemáticos para o desenvolvimento de software. Mas, o que é um método? Um método é um procedimento planejado pelo qual uma meta especificada é abordada passo a passo. Como ressaltam JACOBSON et al. (1993) e LUCENA (1987), apud HIRAMA (1994), um método não deve ser confundido com metodologia, que é a ciência dos métodos.

Como afirma THOMAS (1993), “um método é necessário para trazer para as tarefas de análise, projeto e construção de softwares complexos o mesmo enfoque disciplinado que se encontra em outros ramos da engenharia”.

4.3.2 Modelos de ciclo de vida de software

Desde a demanda inicial pelo cliente até que finalmente o software seja posto em operação, o desenvolvimento de software envolve diversas fases, caracterizadas por produtos e atividades.

Para descrever o desenvolvimento, diversos modelos de Ciclo de Vida têm sido propostos pela Engenharia de Software, e a seleção de um deles deve servir à estratégia que se pretende adotar. A seguir faz-se uma breve discussão desses modelos, de modo a avaliar sua adequação para o desenvolvimento de sistemas de informações para a AP.

4.3.2.1 Modelo em cascata

No chamado modelo de ciclo de vida clássico, ou em cascata (*waterfall model*), o processo é estruturado e descrito em uma seqüência de fases, as quais só se iniciam após o término da anterior. A Figura 4.4 ilustra essa seqüência e os nomes mais usuais das fases. Variantes desse modelo admitem uma certa sobreposição entre o início de uma fase e o término da anterior.

Todavia, o modelo em cascata não evidencia o fato de que a fase de manutenção, em geral, contém toda uma nova sub-cascata; isto é, ela frequentemente engloba todo um novo ciclo de especificação de requisitos, análise, etc. Isto se deve ao fato de que o produto usualmente não chega ao ponto desejado ao fim de uma única seqüência completa de fases; por exemplo, porque os requisitos se alteraram durante o ciclo de desenvolvimento, ou ainda porque houve uma falha no desenvolvimento.

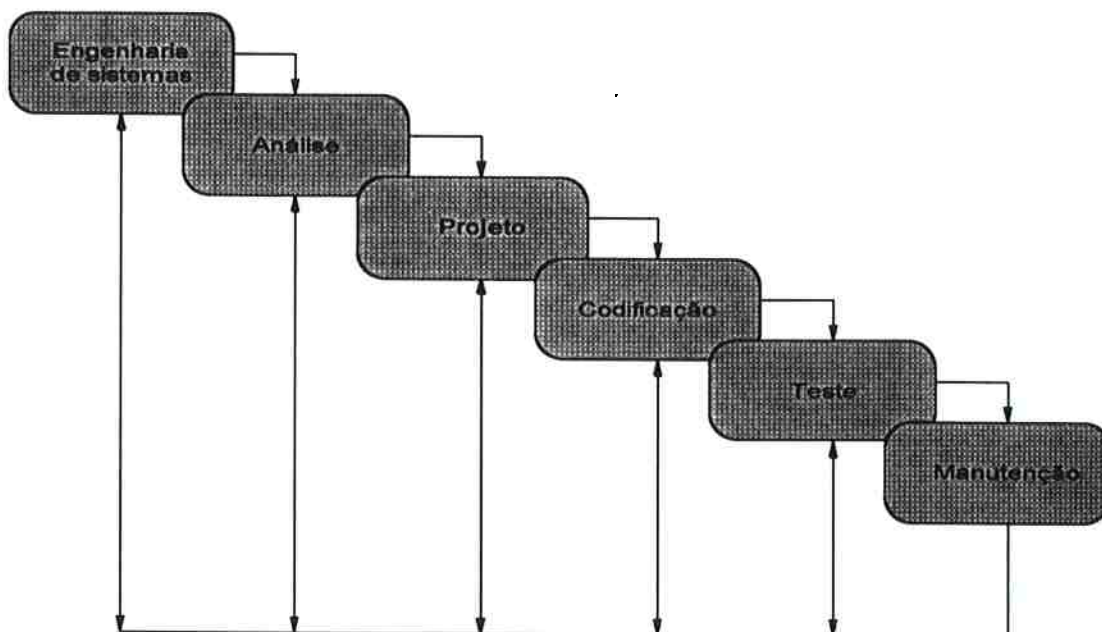


Figura 4.4 - Modelo de ciclo de vida de software em cascata ou clássico. Fonte: PRESSMAN (1995).

4.3.2.2 *Modelo de prototipação*

O modelo de prototipação, GOMMA (1990) apud HIRAMA (1994), PRESSMAN (1995) e JACOBSON et al. (1993), muitas vezes criticado, na verdade deve sua má fama não à técnica em si, mas ao seu mau uso.

A principal característica do modelo é a construção de protótipos do sistema real, para auxiliar na determinação de requisitos. O desenvolvimento de protótipos pode ser útil para destacar ou ilustrar certas propriedades do sistema pretendido, particularmente quando há dificuldade em se estabelecer como o sistema deve operar. Outras partes do sistema, que não são de interesse avaliar, podem ser omitidas ou implementadas de maneira esquemática no protótipo. Pode-se, assim, experimentar diversas opções de projeto.

Adicionalmente, o protótipo pode servir como forma de comunicação entre o desenvolvedor e o usuário, com a vantagem de ilustrar, pela operação e pelo uso, o que com maior dificuldade teria que ser discutido com base numa especificação em papel. É evidente que os aspectos dinâmicos podem ser muito mais bem percebidos no protótipo.

Utilizando-se ambientes que permitem que um protótipo aceitável, funcional e facilmente alterável seja implementado rapidamente, pode-se fazer o que se convencionou chamar de prototipação rápida.

Para evitar a confusão a respeito do modelo, é preciso ter claro que o objetivo da prototipação não é o de desenvolver um produto, mas auxiliar na compreensão de uma aplicação, enfatizando e demonstrando certas propriedades do sistema pretendido. Assim entendida, a prototipação é uma técnica que pode ser utilizada como ferramenta auxiliar, que pode ser inserida em outros modelo de ciclo de vida.

No caso específico da AP, o desenvolvimento de protótipos pode vir a ser bastante interessante para ilustrar as características do sistema, e avaliar preliminarmente as opções de interface de operação e dos procedimentos operacionais, diretamente com os usuários.

4.3.2.3 *Modelo incremental*

Uma constatação que a prática traz é a de que, via de regra, os requisitos dos sistemas não são totalmente conhecidos no início. Isso é particularmente válido para sistemas complexos, e também para novas áreas de pesquisa ou de aplicação, como é o caso da AP.

Nessa situação, o conhecimento do sistema aumenta progressivamente com o trabalho no sistema. Ao entrar em operação a primeira versão, novos requisitos aparecem e antigos eventualmente mudam. Portanto, o sistema como um todo não pode ser desenvolvido na crença de que os requisitos permanecerão constantes durante todo o desenvolvimento. A respeito dessa inevitabilidade das mudanças ao longo do ciclo de vida, JACOBSON et al. (1993) chegam a propor que o desenvolvimento de sistemas é o processo de gerenciar as mudanças.

Num sistema composto de várias funções com uma certa independência entre elas, pode ser interessante iniciar o desenvolvimento com umas poucas delas e, à medida que se ganha um melhor entendimento da funcionalidade do sistema, novas podem ser adicionadas. Desta forma, o sistema pode ser incrementalmente aumentado até que se atinja o nível desejado. Essa estratégia também oferece uma realimentação mais rápida durante o processo de desenvolvimento. Na prática, significa que se pode dividir o sistema em partes, correspondentes aos serviços (funções) solicitadas pelo usuário.

No modelo incremental, cada incremento corresponde a um desenvolvimento completo de um sistema, seguindo o modelo em cascata (HIRAMA, 1994). Para que essa seqüência de desenvolvimentos tenha sucesso, é essencial que os requisitos que formam a base do sistema sejam identificados no início do desenvolvimento, de modo que novas versões não impliquem em alterações profundas das anteriores.

Considerando o desenvolvimento de sistemas de informações para a AP, fica evidente que um desenvolvimento incremental é uma opção boa, posto que se trata de uma área muito nova, com uma série de incertezas em relação aos requisitos dos sistemas. Por outro lado existe, a possibilidade de se identificarem grupos de funções que apresentam certa independência entre si, e que poderiam ser implementados por turnos, desde que se antecipassem algumas implicações futuras mínimas dessa expansão.

4.3.2.4 *Modelo espiral*

O modelo espiral procura absorver o que de melhor cada um desses modelos anteriores possui - uma seqüência de operações em cascata, o uso de protótipos, e a evolutividade do desenvolvimento incremental, e acrescenta um novo elemento, a análise de riscos.

As quatro grandes fases do modelo são:

- planejamento: que engloba a determinação dos objetivos, alternativas e restrições;
- análise dos riscos: que envolve a análise das alternativas, a identificação e a solução dos riscos, eventualmente com a utilização de protótipos;
- engenharia: constituída pelas atividades de desenvolvimento do produto, por exemplo do modelo de cascata;
- avaliação: realizada pelo cliente, e na qual é feito o planejamento das atividades do ciclo seguinte da espiral.

A Figura 4.5 ilustra o modelo, e a espiral crescente evidencia o seu caráter evolucionário e a iteratividade (o caráter incremental) da abordagem.

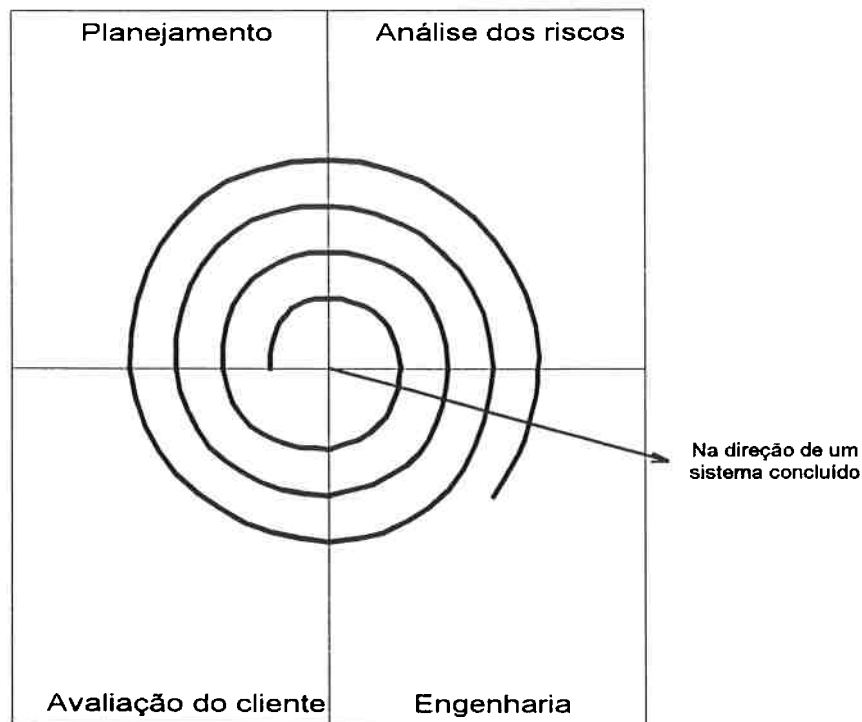


Figura 4.5 Modelo Espiral de ciclo de vida de software. Fonte: PRESSMAN (1995).

Por adotar em seu bojo a prototipação como recurso adicional, além do desenvolvimento incremental, e embutir a seqüência clássica de fases, este modelo também é bastante adequado para ser adotado no desenvolvimento de sistemas para a AP. Questões importantes que devem ser levadas em conta na prática são a gerenciabilidade da evolução, de modo que esse processo espiral não ocorra indefinidamente, sem controle, e a necessidade de uma base sólida inicial para evitar que cada ciclo de desenvolvimento (na espiral) implique em refazer drasticamente o que foi anteriormente construído.

4.3.2.5 A ênfase nas fases iniciais

Como afirma PRESSMAN (1995), a aplicação deve ditar a abordagem a escolher, e nada impede a combinação de paradigmas, se conveniente. Independentemente da técnica de desenvolvimento adotada, os processos de desenvolvimento de software envolvem três grandes fases, que podem ser chamadas de definição, construção ou desenvolvimento e manutenção.

Uma característica do desenvolvimento de sistemas é que as fases iniciais são as mais turbulentas, tendendo a se estabilizar, em seguida. Uma atribuição de um bom método é a de contribuir para que essa estabilização ocorra o quanto antes. De todo modo, é conveniente trabalhar na definição por um tempo suficiente para entender o sistema totalmente, mas não tanto tempo que nos leve a considerar detalhes que venham a ser modificados no projeto. Em geral, isso implica em despende uma parte significativa do trabalho e dos custos na fase de definição.

São clássicos os dados apresentados por PRESSMAN (1995) sobre a variação dos custos de mudanças no sistema, conforme a fase do desenvolvimento em que essas mudanças são efetuadas. A Figura 4.6 ilustra que os custos das mudanças realizadas nas fases iniciais são ordens de grandeza menores que os daquelas demandadas em fases mais avançadas do ciclo. Esses dados justificam a idéia de que o tempo gasto no início do desenvolvimento é amplamente compensado pela potencial maior completeza e correção do sistema, portanto, de sua maior estabilidade.

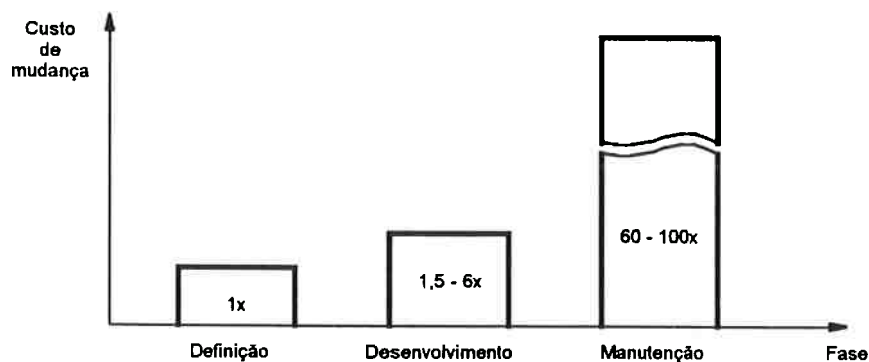


Figura 4.6 - Impacto de mudanças no software nos custos de desenvolvimento. Fonte: PRESSMAN (1995).

4.3.3 Desenvolvimento de software e modelamento

BROOKS (1987), apud JACOBSON et al. (1993), observa que "a parte mais difícil do desenvolvimento de software é a manifestação de sua essência face à inerente complexidade do problema, e não os acidentes de seu mapeamento em uma determinada

linguagem, que são devidos a imperfeições temporárias de nossas ferramentas, que estão sendo rapidamente corrigidas”.

Para capturar a essência de um problema em meio à complexidade deste, a abstração desempenha papel fundamental. A abstração é a capacidade humana que permite a apreciação seletiva de determinados aspectos de um problema, uma entidade, ou um fato. O objetivo da abstração é isolar os aspectos que são importantes para um determinado fim, dos aspectos que não são importantes para aquele mesmo fim. A abstração, portanto, sempre pressupõe uma finalidade que vai orientar a seleção de o que é e o que não é importante ser considerado. Uma vez que a abstração envolve a desconsideração de partes do problema, ela é uma representação parcial da realidade, um modelo, que embora não reflita a realidade completa, pode atender as necessidades a que se propôs.

Um modelo, portanto, é um abstração de alguma entidade, com um propósito bem definido. O modelo omite os detalhes não essenciais da entidade original e, por isso, sua manipulação é mais fácil. Alguns propósitos podem motivar a construção de modelos, como testar um entidade física antes de dar-lhe forma; a comunicação com clientes; a visualização, além da redução da complexidade visando a análise e compreensão do problema (RUMBAUGH et al., 1997).

Para construir sistemas complexos, diferentes visões do sistema e diferentes abstrações são necessárias para garantir a cobertura dos diversos aspectos e requisitos que o sistema deve contemplar. Essas diferentes visões proporcionam a descrição de modelos, mas para isso uma notação precisa é necessária. Os modelo iniciais, todavia, não são suficientes para descrever todo o sistema. Além disso, tentar capturar de uma só vez todos os diversos níveis de detalhe pode tornar incompreensível o modelo, além de dificultar sua elaboração. Em vez disso, modelos com diferentes graus de detalhe são convenientes. Enquanto os modelos iniciais são bastante abstratos, focalizando nas características externas do sistema, os modelos finais são mais detalhados e explicitam como o sistema deve ser construído e como deve funcionar.

Sob essa óptica, o desenvolvimento de sistemas pode ser visto como um processo de produção de modelos (JACOBSON et al., 1993). Esse processo é

constituído de diversas fases, cada qual constituindo um desenvolvimento mais detalhado e concreto das atividades anteriores. É, portanto, uma gradual transformação de uma seqüência de modelos, dos quais o primeiro descreve os requisitos de quem demanda o sistema, e o último modelo representa o programa completamente testado.

O objetivo desse procedimento é dividir a complexa atividade de desenvolvimento em uma série de atividades menores. Cada modelo parcial é uma abstração que permite ao projetista tomar as decisões necessárias naquele nível, a fim de caminhar na direção do modelo final, o código fonte testado. Cada modelo adiciona mais estrutura ao sistema e é mais formal que os anteriores.

Um aspecto a ser ressaltado nesse processo de produção de modelos é a importância primordial que as fases (e os modelos) iniciais têm no processo. Como afirmou BROOKS (1993) apud JACOBSON (1993), a maior dificuldade é a captura da essência do problema. Uma incorreta avaliação do problema nas fases iniciais conduzirá a erros que se propagarão por todo o processo de detalhamento, no desenvolvimento do software. Disto segue que uma ênfase na fase de análise do problema é plenamente justificada.

No desenvolvimento deste trabalho, o que se pretende é a identificação de um modelo para uma classe de sistemas, mais do que apenas definir um sistema específico. O grau de abstração adequado é, portanto, maior, na medida em que o modelo deve comportar uma relativa maior flexibilidade para abrigar diferentes implementações.

4.3.4 Métodos de Desenvolvimento de Software

Como foi visto, o desenvolvimento de software pode ser visto como um processo de criação e descrição de modelos. Para auxiliar nessa tarefa, e visando estabelecer conceitos, regras, notações e uma seqüência de atividades precisos, diversos métodos têm sido propostos.

JACOBSON et al. (1993) dividem os métodos para desenvolvimento de sistema, a grosso modo, em métodos baseados em decomposição funcional e de dados, e métodos orientados a objetos.

4.3.4.1 Métodos baseados em decomposição funcional e de dados

Na modelagem baseada no paradigma funcional, o sistema é inicialmente dividido em suas funções, e a modelagem de dados é inexpressiva. Já no paradigma da dados, são inicialmente definidas as estruturas de dados principais do sistema, derivando-se em seguida as funções que os manipulam (HIRAMA, 1994 e JACOBSON et al., 1993). Em ambos os casos, tratam-se as funções e os dados como sendo separados, em maior ou menor grau. As funções são ativas e têm comportamento, enquanto os dados são portadores de informação passivos, e são afetados pelas funções.

Um problema que decorre dessa separação entre os dados e as funções é que, em princípio, todas as funções devem conhecer a estrutura dos dados que manipulam, o que, além de complicar a estrutura do programa, dificulta a mudança da estrutura dos dados, já que afetará todas as funções relacionadas àquela estrutura.

Uma outra decorrência é a maior dificuldade para fazer o mapeamento entre o domínio do problema do mundo real e o domínio da solução. Esses dois domínios representam a visão externa e a visão interna do sistema, respectivamente. As pessoas pensam normalmente em termos de "o que" um sistema deve fazer ou conter, mas ao modelar o sistema em termos funcionais, esta visão tem que ser convertida em termos de "como" o sistema deve fazer. Essa mudança de ponto de vista representa um problema que é denominado distância semântica, e dá uma medida da probabilidade do software atender às necessidades do cliente ou usuário final: quanto menor a distância, maior a probabilidade (JACOBSON et al., 1993).

Por este motivo, os sistemas resultantes podem ser frágeis face às mudanças de requisitos. Os sistemas são projetados com base na forma como um certo comportamento será executado, e isso (esse "como") é bastante sujeito a mudanças; em decorrência, as alterações de requisitos, com frequência, têm implicações maiores no software (RUMBAUGH et al., 1997 e JACOBSON et al., 1993).

No caso específico da AP, um exemplo poderia ser a análise de variabilidade espaço-temporal, que é um ponto ainda em aberto em relação aos métodos, aos parâmetros, às variáveis de entrada a utilizar. Esse "como" analisar ainda está em aberto, e qualquer mudança em relação a um método existente num sistema baseado no

paradigma funcional, implicaria em maiores mudanças na estrutura do programa do que apenas a troca de um módulo.

4.3.4.2 *Métodos orientados a objetos*

De uma maneira simplificada, a orientação a objetos significa que o software é estruturado, como uma coleção de objetos que representam o mundo real.

Os objetos representam entidades que possuem um estado (a informação), e que oferecem um conjunto de operações (o comportamento) para examinar ou afetar esse estado (JACOBSON et al., 1993). O comportamento e a informação de cada objeto estão encapsulados no objeto; tudo o que pode ser visto de um objeto é a sua interface, ou seja, as operações que se pode realizar nele. Os objetos realizam o que se chama de ocultamento da informação, no sentido de que eles escondem sua estrutura interna. Para usar um objeto, não é necessário conhecer essa estrutura, isto é, como as operações e a informação estão representadas ou implementadas internamente. Basta conhecer sua interface, as operações que ele oferece.

Algumas características da abordagem por objetos incluem: identidade, classificação, polimorfismo e herança (RUMBAUGH et al., 1997).

Identidade denota que cada objeto é uma entidade única. Exemplos de objetos são um carro (um objeto concreto) ou uma regra para seleção de um produto (um objeto conceitual).

Classificação significa que os objetos podem ser agrupados em classes: objetos com a mesma estrutura de dados (atributos) e com os mesmo comportamento (operações, na terminologia de objetos) formam uma classe. Cada objeto individual é dito ser uma instância de sua classe. Todos os objetos da classe (todas as instâncias da classe) possuem os mesmos tipos de atributos e operações. Exemplo de classe pode ser a dos tratores; todos os membros da classe (as instâncias) possuem alguns atributos comuns (têm motor, têm sistema de locomoção, têm marca, têm modelo) e algumas operações comuns (mover, parar, engatar).

Polimorfismo significa que uma mesma operação pode atuar de modos diferentes em classes diferentes. O objeto que envia um estímulo (solicita uma operação) não

precisa saber como o estímulo será interpretado pelo objeto receptor, mas precisa saber que o receptor pode realizar uma certa operação. Por exemplo, os objetos "Data-Hora" e "Relatório" oferecem a operação "imprimir". Em cada um deles a operação poderá ser implementada de maneiras diferentes (seus conteúdos e formatos de impressão são diferentes, no mínimo).

Herança significa que classes que se relacionam segundo uma hierarquia compartilham atributos e operações. Uma classe mais genérica pode ser definida inicialmente, e subclasses dela são então especificadas, refinando as características da superclasse. As características da superclasse são herdadas pelas subclasses. Por exemplo, tem-se a superclasse "tratores" e as subclasses "tratores de rodas" e "tratores de esteira". Nas duas subclasses, os atributos comuns herdados da superclasse se aplicam (marca, modelo, motor, etc.), enquanto atributos específicos existem para cada subclasse (pressão nos pneus, na classe "tratores de rodas", e largura da esteira, na classe "tratores de esteira", por exemplo).

Os métodos orientados a objetos vêm funções e dados (ou comportamento e informação) de uma maneira integrada, indivisível e, na modelagem do sistema segundo esse paradigma, estruturam o sistema em termos dos objetos que existem no mundo real, no domínio do problema, e nas relações entre eles. Esta é uma característica importante, na medida em que ela reflete a forma como as pessoas encaram seu ambiente; ou seja, em termos de objetos. Por isso, torna-se fácil pensar em termos de objetos do mundo real para modelar um sistema, e torna-se fácil entender um modelo de objetos. A distância entre a visão externa e a visão interna do sistema é pequena, ou, dito de outra forma, a distância semântica entre a realidade e o modelo é pequena (JACOBSON et al., 1993). A Figura 4.7 ilustra essa idéia.

Além de essa abordagem ser mais natural, o modelo baseia-se em itens que normalmente são bastante estáveis e mudam pouco, pois apóia-se na própria estrutura fundamental do domínio da aplicação, ao invés de apoiar-se no requisitos funcionais *ad hoc* de um único problema. Desta forma, mantém-se melhor à medida que os requisitos evoluem. Se mudanças ocorrem, em geral elas estão circunscritas a poucos objetos e afetam apenas localmente o sistema.

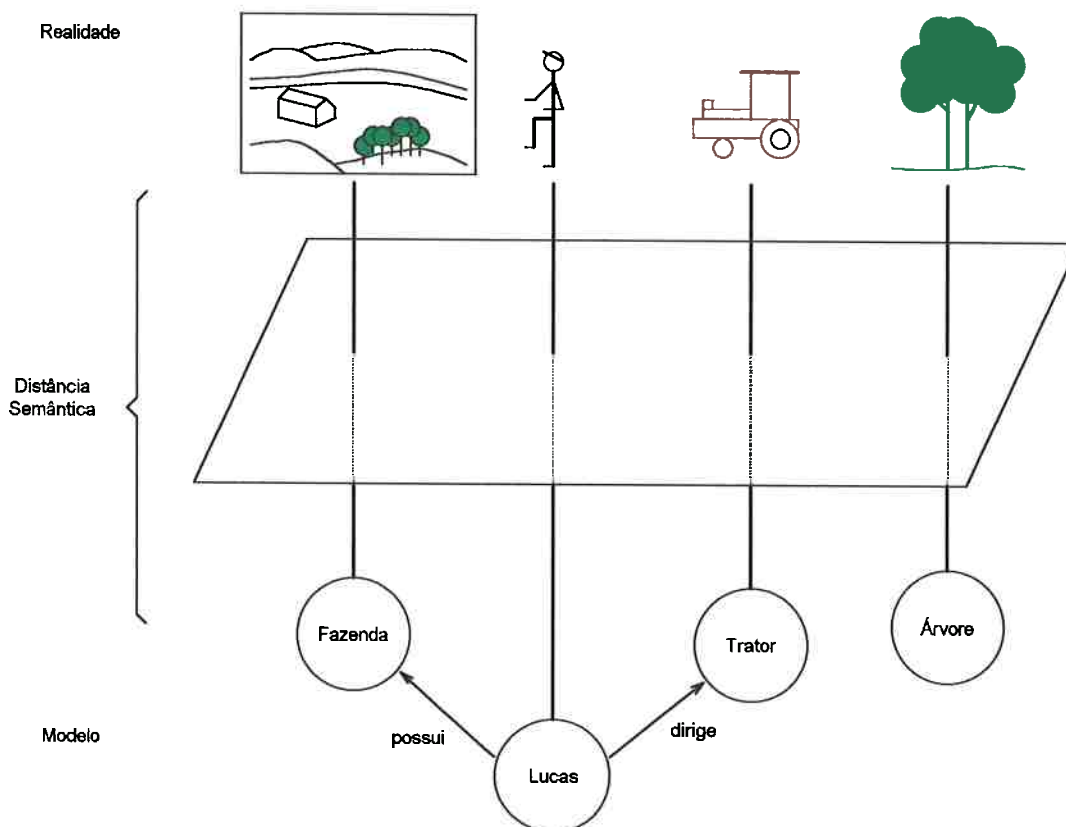


Figura 4.7 - Objetos do mundo real são diretamente mapeados em objetos do sistema. Baseado em JACOBSON et al. (1993).

Como afirma BOOCH (1986) apud RUMBAUGH et al. (1997), "a tecnologia baseada em objetos preocupa-se em especificar o que um objeto é, e não em como ele é utilizado. Os usos de um objeto são altamente dependentes dos detalhes da aplicação e freqüentemente mudam durante o desenvolvimento. À medida que os requisitos evoluem, as características de um objeto permanecem muito mais estáveis do que os modos como ele é utilizado e, por causa disso, o software construído com base na estrutura de objetos é mais estável a longo prazo".

Em síntese, a modelagem e o projeto baseados em objetos proporcionam melhor entendimento dos requisitos do sistema e conseqüente melhor modelagem do domínio do problema, projetos menos complicados, pela melhor estruturação do software em conceitos de tipos abstratos de dados, sistemas de manutenção mais fácil, e a possibilidade de aplicar conceitos de reutilização de software durante o desenvolvimento (CAPRETZ; LEE, 1992 apud HIRAMA, 1994 e RUMBAUGH et al., 1997).

Diversos métodos orientados a objetos têm sido propostos, e entre os mais expressivos pode-se citar os de Booch, Shlaer&Mellor, Coad&Yourdon, Rumbaugh e Jacobson. Para uma discussão a respeito desses métodos e uma comparação entre eles, sugere-se a leitura de HIRAMA (1994), JACOBSON et al. (1993), RUMBAUGH et al. (1997), RUMBAUGH (1996), e SOUZA; MELNIKOFF (1994).

A seguir, serão brevemente descritos alguns aspectos dos métodos propostos por JACOBSON et al. (1993) e RUMBAUGH et al. (1997), os quais foram utilizados de modo combinado no modelamento do MOSAICo.

4.3.4.3 O Método OMT

O método denominado *Object Modeling Technique - OMT*, ou Técnica de Modelamento por Objetos, foi proposto por RUMBAUGH et al. em 1991⁷ (RUMBAUGH et al., 1997). Neste item apresentam-se sucintamente os modelos e as fases do método.

a) Modelos

O método prevê três tipos de modelo: o modelo de objetos, o modelo dinâmico e o modelo funcional.

Modelo de Objetos

O modelo de objetos é o mais importante dos três, pois estabelece a estrutura básica do sistema através dos objetos, que correspondem mais diretamente ao mundo real e são, por isso, mais estáveis e adaptáveis às modificações.

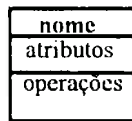
É constituído por diagramas de objetos do sistema e representa a estrutura estática das classes de objetos, dos objetos individuais e seus relacionamentos.

Para exibir as várias possibilidades de relacionamentos entre as classes ou objetos, uma grande quantidade de conceitos e sua respectiva notação são propostos pelos autores. Delas, as mais significativas e básicas são apresentadas na Figura 4.8.

⁷ Título original na língua inglesa: Object-oriented modeling and design, Prentice-Hall, 1991.

Classes e objetos

Classe



Objeto

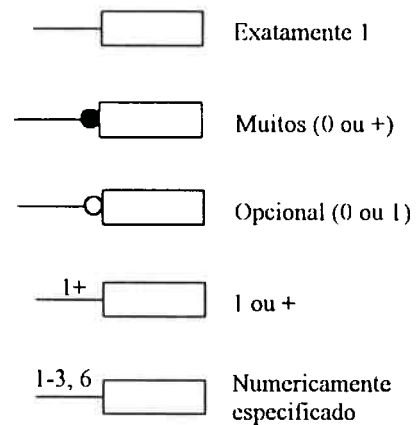


Associações

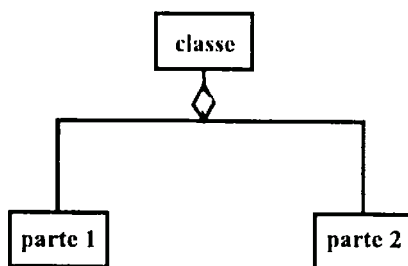
Associação



Multiplicidade de Associações



Agregação



Generalização/Herança

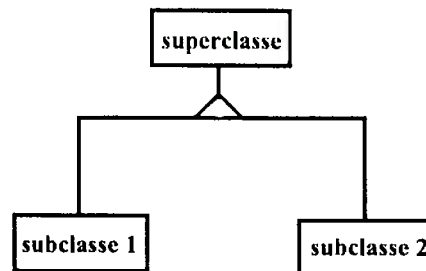


Figura 4.8 - Notação básica do modelo de objetos no método OMT. Fonte: RUMBAUGH et al. (1997).

Modelo Dinâmico

Como complemento à estrutura estática do modelo de objetos, o modelo dinâmico descreve os aspectos de um sistema relativos ao tempo e às modificações nos objetos. Como principais conceitos do modelo, tem-se os eventos e os estados. Os eventos são os estímulos externos aos objetos e os estados são definidos através dos valores dos atributos, e das ligações mantidas por um objeto num dado momento.

Como enfatiza RUMBAUGH (1996), a descrição pelo modelo dinâmico só se justifica para objetos que possuem comportamento dinâmico relevante, isto é, que sofrem mudanças de estado significativas. “Na prática, a maioria dos objetos de um sistema não passa por mudanças de estado significativas, portanto apenas uma minoria de classes requer diagramas de estado”. Todavia, este pode não ser o caso para sistemas de controle, nos quais a componente dinâmica é muito importante.

Modelo Funcional

O modelo funcional descreve os processamentos executados num sistema, através das operações dos objetos mostrando as transformações sobre os valores dos atributos. É constituído por diagramas de fluxos de dados adaptados para os propósitos.

Os diagramas de fluxo de dados são especialmente úteis para mostrar a funcionalidade de alto nível de um sistema, bem como as transformações complexas com múltiplas entradas, saídas e valores intermediários (RUMBAUGH et al., 1997).

b) Método

O método propriamente dito compõe-se de quatro fases: Análise, Projeto do Sistema, Projeto dos Objetos, e Implementação.

Na fase da Análise procura-se compreender o meio onde se inserirá o sistema e o papel do sistema nesse ambiente. O Modelo de Análise resultante dessa fase, que inclui os três modelos básicos - de Objetos, Dinâmico e Funcional, é útil para esclarecer os requisitos, para permitir a comunicação entre o usuário e o desenvolvedor, e será a base sobre a qual será feito o detalhamento do projeto nas fases seguintes.

Na fase de Análise deve-se concentrar nas características mais relevantes do mundo real, deixando os detalhes para as fases seguintes. Fundamentalmente, a análise especifica o que fazer, e não como fazer.

O primeiro passo para a análise é a redação de um Enunciado do Problema, que deve ser feito, se possível, em conjunto pelos usuários e desenvolvedores. Esse documento pode ser e, em geral, é incompleto e impreciso, mas ao longo da fase da Análise, essas falhas serão expostas e diminuídas.

Com base nesse texto, constrói-se um modelo do sistema do mundo real, composto pelos três modelos - de objetos, dinâmico e funcional. Esses modelos permitem, com suas notações, obter uma descrição mais precisa, menos ambígua e mais sintética do problema.

Como todo restante do processo de desenvolvimento irá referir-se ao Modelo de Análise, é essencial que ele se baseie numa rigorosa análise do domínio do problema, para forçar o aparecimento de erros ou lacunas na descrição.

Nas fases seguintes do método, que são o projeto de sistema, o projeto de objetos e a implementação, o Modelo de Análise será gradativamente detalhado, culminando com sua implementação. Estas fases não serão aqui detalhadas, pois não são de interesse para o desenvolvimento do modelo MOSAICO, que se trata de um meta-modelo de sistema.

Um recurso a mais, que o método propõe e que se mostra conveniente para este trabalho, é a divisão do sistema em subsistemas.

Segundo RUMBAUGH (1996), para sistemas de médio e grande porte, o diagrama de classes pode resultar muito grande, o que dificulta sua leitura e compreensão. Embora as construções de agregação e generalização entre classes possam ser utilizadas para enxugar o modelo, outros constructos de escalonamento são necessários nesses casos. Sugere, então, o uso da noção de subsistemas para organizar grandes sistemas a partir de partes menores.

Entre as razões para recorrer a essa construção, o autor cita:

- Abstração - suprimir detalhes do modelo para exibir apenas sua estrutura geral e ajudar a compreensão.
- Decomposição - as várias partes, os subsistemas, que constituem o sistema, podem ser desenvolvidas em separado e em paralelo. Uma visão geral e uma visão detalhada do sistema são necessárias, e o mapeamento de uma na outra deve ser claro.
- Reuso - componentes do sistema podem ser reutilizados em outras situações. Para que isso possa ocorrer com grande frequência, os componentes devem ser úteis por si próprios, e aplicáveis a várias situações, além de ter claramente definidas suas interfaces.
- Concorrência - permite que o sistema executável seja constituído de partes que têm características de objetos, no sentido que encapsulam seu interior, e podem ter sua implementação trocada durante o projeto e durante a execução. Esses subsistemas-objeto podem ser complexos em seu comportamento, e podem incluir inúmeros outros objetos e classes, em vez de serem objetos únicos.

Para dar suporte a esse recurso de dividir o sistema em subsistemas, um conjunto de diagramas de subsistemas é proposto. A notação sugerida é apresentada de maneira resumida na Figura 4.9.

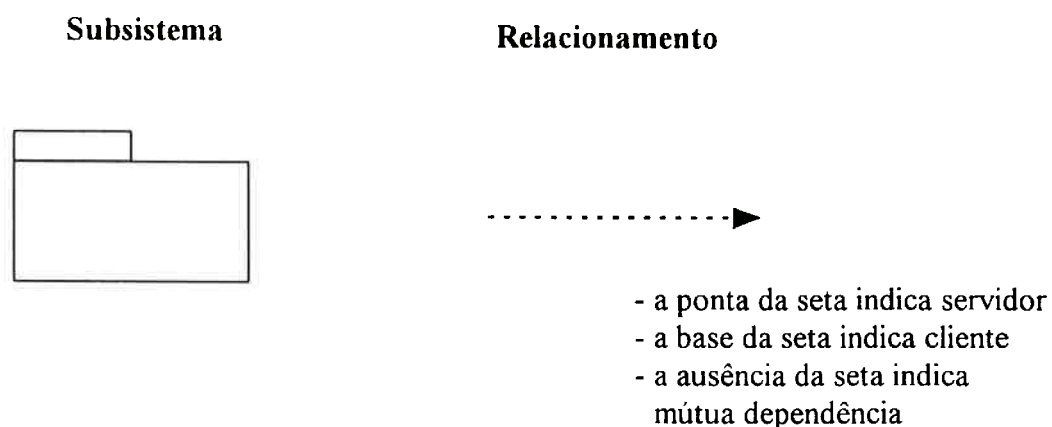


Figura 4.9 - Notação de subsistemas no método OMT. Fonte: RUMBAUGH (1996).

c) Comentário sobre o Método

O método apresenta um bom conjunto de características tanto em termos de conceitos como de notação de apoio, disponíveis na bibliografia básica (RUMBAUGH et al., 1997), que possui diversos exemplos. Uma importante referência adicional (RUMBAUGH, 1996) aprofunda a discussão de vários pontos do método, como o recurso dos subsistemas. Além disso, propõe a incorporação de novos conceitos, como o dos casos de uso, adotado de JACOBSON et al. (1993). Diversas referências ao método são encontradas na literatura, em particular nas descrições de modelos de interesse para o MOSAICo, como os de OGC (1996a), o que corrobora a utilidade deste método para a descrição do MOSAICo, além de facilitar a sua análise face a essas outras iniciativas.

4.3.4.4 O Método OOSE

O método denominado *Object Oriented Software Engineering* (Engenharia de Software Orientada a Objetos) foi proposto por JACOBSON et al. (1993). É um método que coloca significativa ênfase nas fases iniciais do ciclo de vida e na rastreabilidade dos requisitos ao longo de todo o ciclo. Para auxiliar nessa tarefa, apresenta como característica distintiva o conceito de "casos de uso" (*use cases*).

Um caso de uso é uma forma particular de se utilizar o sistema, um cenário que começa com um usuário iniciando alguma forma de transação ou seqüência de eventos com o sistema. Em torno da identificação desses casos de uso será centrada a análise e todo o resto do processo de desenvolvimento no OOSE. Dessa forma, o método produz sistemas que são intrinsecamente mais usáveis, e mais adaptáveis às mudanças de uso. Este enfoque também facilita construir sistemas complexos, a partir de uma série de análises menores, relativamente independentes, de casos de uso distintos. A solução surge, então, de maneira incremental, passo a passo, à medida que novas funcionalidades vão sendo analisadas nos casos de uso (CONSTANTINE, 1993).

Este enfoque centrado no usuário permite que o papel fundamental que o usuário deve ter na especificação do sistema seja mais bem considerado. Afinal, é com base nas suas necessidades que o software deve ser especificado, e a validação deve ocorrer do ponto de vista do atendimento dessas necessidades (JACOBSON et al., 1993).

Embora outros métodos adotem construções e conceitos que lembrem de alguma forma os casos de uso, nenhum deles põe tamanha ênfase, ou formaliza de tal maneira a propor que a análise se baseie tão fortemente na utilização do sistemas, como o faz o OOSE.

a) Modelos

O método se baseia em diversos modelos, divididos pelas diferentes fases de desenvolvimento. Pela ordem de construção, e no sentido de um maior detalhamento, esses modelos são: Modelo de Requisitos, Modelo de Análise, Modelo de Projeto, Modelo de Implementação e Modelo de Testes.

O Modelo de Requisitos objetiva capturar os requisitos funcionais, para o que se apoia em outros modelos que o compõem: um Modelo de Casos de Uso, uma descrição textual dos casos de uso, e opcionalmente um Modelo de Objetos do Domínio e uma descrição de interfaces de operação.

O Modelo de Análise é um modelo de objetos, e procura dar ao sistema uma estrutura robusta e alterável.

O Modelo de Projeto visa adaptar e refinar a estrutura de objetos do Modelo de Análise a uma determinada plataforma de implementação. O Modelo de Implementação visa implementar o sistema, e o Modelo de Teste visa verificar o sistema.

b) Método

O método propriamente dito está dividido em três fases, ou processos na terminologia do OOSE: Análise, Construção e Teste.

O processo de Análise engloba a construção do Modelo de Requisitos e do Modelo de Análise; o processo de Construção, o Modelo de Projeto e o Modelo de Implementação; o processo de Testes compreende a construção do Modelo de Teste.

Do ponto de vista da construção do MOSAICo, o interesse no método concentra-se no Modelo de Requisitos, do processo de Análise. Este modelo visa delimitar o sistema, em relação ao ambiente de aplicação, e definir a sua funcionalidade

em relação aos requisitos dos usuários. Ele será a base e a referência para todos os modelos subseqüentes, e na sua descrição será utilizado o conceito de casos de uso.

Os casos de uso representam seqüências de transações relacionadas a um comportamento ou função do sistema, numa espécie de diálogo de um usuário com um sistema. Tais casos de uso representam as formas como o sistema é utilizado pelos usuários, e como interage com eles. Atores representam tudo o que existe fora do sistema, e com ele interagem para troca de informação: pessoas, máquinas, outros sistemas. Os atores representam papéis que essas entidades externas podem desempenhar, e podem ser entendidos como classes de usuários. Os usuários do sistema são, portanto, instâncias dos atores, e podem assumir diferentes papéis em diferentes momentos. Para identificar os casos de uso pode-se perguntar, por exemplo, que tipo de ação os atores pretendem executar no (ou com o) sistema.

Os casos de uso são formalizados num Modelo de Casos de Uso, cuja notação básica está ilustrada na Figura 4.10.

Uma vez estabilizada a identificação de casos de uso, cada caso de uso deve ser descrito textualmente em detalhe, evidenciando a seqüência de eventos que o constituem e, eventualmente, as variantes e exceções que o caso de uso pode acomodar, quando aplicável. Essas descrições são importantes, pois com base nelas será feita a identificação dos objetos do sistema.

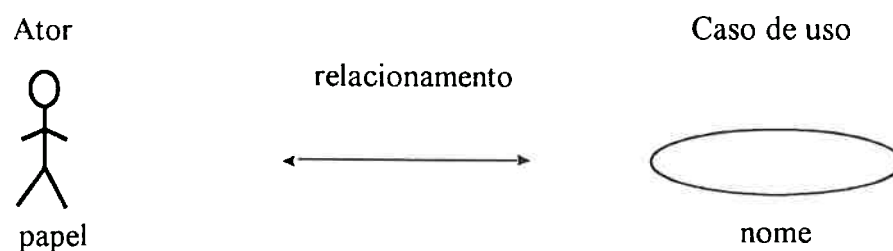


Figura 4.10 - Notação básica do Modelo de casos de uso. Fonte: JACOBSON et al. (1993).

Em apoio ao modelo de casos de uso, pode-se desenvolver protótipos de interfaces, de modo a simular casos de uso, permitindo ao usuário ter uma noção do

sistema final. Isto é particularmente importante para envolver o usuário na especificação dessa interface e, com o auxílio de ferramentas de desenvolvimento de interfaces gráficas atualmente disponíveis, pode-se tornar bastante real a simulação da operação do sistema. Este procedimento permite eliminar equívocos de comunicação entre os usuários e os desenvolvedores, bem como permite explorar melhor as alternativas de interface possíveis.

Pode-se, ainda, desenvolver para o sistema um modelo de objetos do domínio. Esse modelo pode ajudar a identificar as tarefas do sistema e seus limites, especialmente quando se parte de uma especificação de requisitos vaga. Ele consiste de objetos do domínio do problema, isto é, entidades (objetos) que possuem uma contrapartida direta no ambiente da aplicação, e que são importantes para o sistema. O esforço de desenvolver esse modelo nos permite identificar uma lista de substantivos (nomes) e conceitos que serão úteis na especificação dos casos de uso. Como o objetivo desse modelo é o de servir de suporte para um melhor entendimento do sistema e para auxiliar da identificação e especificação dos casos de uso, ele não deve conter muito detalhe.

Nas fases (ou processos) seguintes do desenvolvimento segundo o OOSE, os modelos proporcionam descrições cada vez mais detalhadas do sistema em direção à implementação.

c) Comentário sobre o método

O método OOSE tem seu ponto forte na forma de propor o conceito e a utilização dos casos de uso como recurso para especificar requisitos e auxiliar a sua rastreabilidade ao longo do ciclo de desenvolvimento.

Embora outros autores utilizem conceitos e técnicas que tenham certa semelhança, nenhum deles coloca tamanha ênfase na análise da funcionalidade como recurso para delimitação do sistema e identificação de requisitos.

Como reconhecimento da utilidade dessa abordagem, o método OMT RUMBAUGH et al. (1997) passou a incorporar a análise dos casos de uso (RUMBAUGH, 1996).

A documentação do método na bibliografia básica, todavia, não é tão clara e detalhada como o é a do método OMT.

4.4 A análise de domínio e a especificação de meta-sistemas

Segundo ARANGO; PRIETO-DIAZ (1991b), as práticas da engenharia de software convencional recomendam que, antes de implementar um sistema, deve-se analisar o problema e extrair requisitos para a sua solução, especificar o que o sistema deve fazer, e projetar o sistema de modo que possa evoluir futuramente.

Todavia, quando se trata de uma classe de problemas, para os quais uma classe de soluções (classe de sistemas) está sendo buscada, a fase correspondente à análise de requisitos e especificação desse meta-sistema é denominada análise de domínio. Em outras palavras, a análise de domínio lida com a identificação, aquisição e representação de conhecimento sobre a especificação e a implementação de software para classes de problemas do mundo real.

Um aspecto de suma importância desse conhecimento é que ele é ou deve ser potencialmente reutilizável, dentro do domínio em questão. Daí o grande vínculo entre análise de domínio e reutilização de software. O meta-sistema que se procura especificar pode ser chamado de sistema reutilizável, no sentido de que o seu propósito é servir para orientar as posteriores implementações das aplicações.

Para tanto, a análise de domínio deve auxiliar na identificação dos conceitos de especificação e implementação desse sistema; esses conceitos devem ser representados num modelo, dito modelo do domínio. Este modelo do domínio poderá então ser utilizado direta ou indiretamente na construções de sistemas específicos ou de componentes reutilizáveis.

Ainda segundo os mesmos autores, duas suposições básicas formam a base para a análise do domínio. A primeira afirma que informações reutilizáveis são específicas para cada domínio, e que a reusabilidade não é uma característica universal das informações. A segunda afirma que domínios de problemas são coesos e (relativamente) estáveis, isto é, que o conhecimento acerca de soluções e métodos de soluções para domínios de

problemas do mundo real são suficientemente estáveis e coesivos para justificar o esforço de adquiri-lo e representá-lo.

Os métodos adotados para a análise de domínio variam bastante e são alvo de pesquisa e discussão. Dada uma classe de problemas para os quais se procuram softwares que sejam a solução, procura-se identificar uma linguagem unificada para a descrição dos problemas, e soluções ou métodos de solução geralmente válidos. Segundo os mesmos autores, as formas de fazê-lo podem variar entre a formação de teorias (como nas ciências físicas) e a engenharia do conhecimento (como no desenvolvimento de sistemas especialistas). O processo através do qual as pessoas desenvolvem teorias não é muito bem compreendido, é algo muito pessoal que envolve observação, analogia, geração de hipótese, teste e indução. De um lado do espectro metodológico, pode-se encontrar o próprio especialista no domínio como o analista (de domínio). Pode-se argumentar a favor e contra essa posição, uma vez que o especialista nem sempre consegue articular seu conhecimento na forma de conceitos e regras; por outro lado, a necessidade de fazê-lo freqüentemente leva a uma revisão dos fundamentos de seu conhecimento, numa recompensadora experiência de aprendizado. No outro extremo do espectro, há o enfoque da engenharia de conhecimento, que adota como fases básicas a identificação das fontes de conhecimento adequadas, a aquisição desse conhecimento e, então, a sua representação explícita. Essas fases não são absolutamente triviais, como mostra a experiência na área de sistemas especialistas. Nesse processo de busca e aquisição de conhecimento, a engenharia reversa tem recebido considerável atenção. A partir da análise de um conjunto de soluções já existentes, procura-se extrair suas características comuns para permitir generalizações.

Os autores concluem afirmando que todos esses componentes são importantes na análise de domínio. Há uma componente de formação de teoria mas, do ponto de vista prático, o enfoque de engenharia de conhecimento pode ser utilizado. A presença dos especialistas humanos no processo, sejam eles os próprios analistas, sejam consultores, é essencial.

NEIGHBORS (1991) relaciona diversas fontes de conhecimento e diversos participantes do processo. Além do analista de sistema e de um usuário com uma necessidade específica, figuras comuns na fase de análise de sistemas do desenvolvimento

de um software, o autor incorpora ainda uma componente de engenharia reversa, embutida nos usuários de sistemas similares. Destes se pode obter necessidades mais gerais para a classe de sistemas, tarefa a ser realizada por um analista de domínio de aplicação.

Um papel adicional, o do analista de modelamento do domínio, obtém da análise da literatura o conhecimento sobre as técnicas e notações de modelamento de domínios. Um terceiro papel, o do projetista de domínio, seria o responsável pela junção desse conhecimento advindo dos dois analistas, de domínio de aplicação e de modelamento de domínios, para efetivamente projetar uma estrutura do domínio. Esta poderia ser utilizada para a solução de casos específicos de implementação de sistemas, que atendam as necessidades específicas de usuários.

Todavia, "preencher a lacuna entre as fontes de conhecimento sobre um domínio e a sua representação formal ou semi-formal é bastante difícil", segundo ARANGO; PRIETO-DIAZ (1991b), e os diversos trabalhos encontrados na bibliografia, como em ARANGO; PRIETO-DIAZ (1991a), são tentativas de solução parciais, muitas delas específicas para um dado domínio.

A orientação a objetos é um paradigma, cujos conceitos podem ajudar a estruturar esse conhecimento. GREESPAN; MYLOPOULOS; BORGIDA (1991) propõem uma estrutura para capturar mais conhecimento na especificação de requisitos, a qual é baseada em conceitos de objetos e classes, mas não utilizam uma notação gráfica que auxilie na representação. BARROS (1993) também propõe o uso de orientação a objetos para a elicitación e formalização de requisitos.

Se a forma de se realizar a análise do domínio é bastante variada e uma matéria de grande discussão e pesquisa, igualmente o são seus resultados. Estes podem compreender desde normas, padrões, recomendações, definições de interface, passando por modelos funcionais (utilizando por exemplo diagramas de fluxo de dados), e modelos estruturais. A sua representação também pode variar em sua complexidade e formalidade, indo de uma taxonomia do domínio até a elaboração de uma linguagem de domínio. A Figura 4.11 ilustra as diversas interfaces da análise de domínio, suas possíveis entradas e saídas.

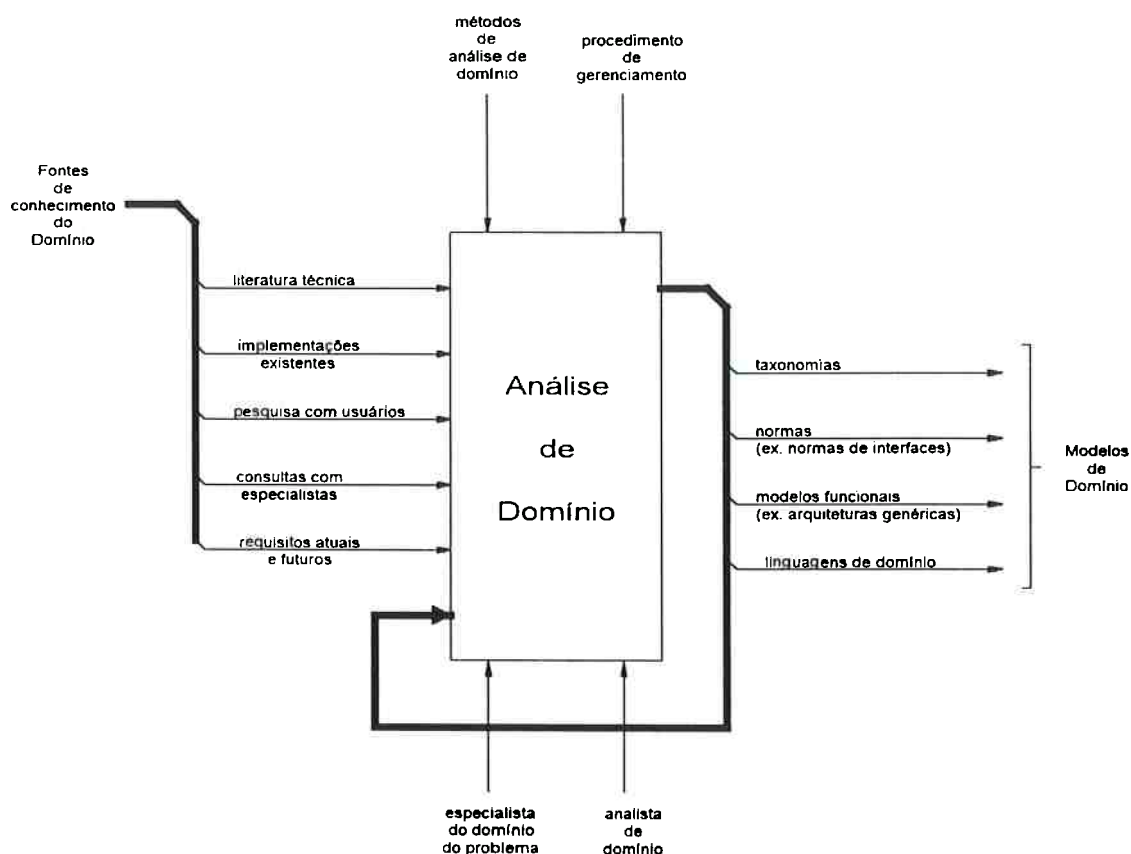


Figura 4.11 - As entradas, saídas e agentes que participam do processo de análise de domínio, segundo ARANGO; PRIETO-DIAZ (1991b).

Do ponto de vista deste trabalho, é importante identificar que o seu escopo corresponde à especificação de um modelo de um meta-sistema. Não se pretende limitar a análise do problema dos sistemas de informações para AP com vistas à busca de uma única e definitiva solução. As argumentações expostas nos Capítulos 2 e 3, acerca da complexidade potencial do problema e de sua solução, das inúmeras e específicas possibilidades de implementação, e da incerteza em relação aos métodos e da rápida evolução por que passa a tecnologia, não recomendam essa abordagem estreita. Antes, procura-se identificar conceitos estáveis que permitam servir de base para uma classe de sistemas.

Neste sentido, o trabalho compreende um estudo do domínio da AP, e mais especificamente dos sistemas de informações de apoio à fase do gerenciamento da informação.

4.5 Considerações finais

Neste capítulo foram abordados fundamentos nos quais se baseia o trabalho de modelamento do MOSAICo.

Foram identificados os conceitos-chave que devem orientar tanto diretamente as atividades deste trabalho, como também a própria atividade de desenvolvimento de sistemas específicos derivados desse modelo de meta-sistema.

O paradigma de sistemas abertos é apontado como uma premissa importante para que esses sistemas possam atender as necessidades do domínio. Algumas iniciativas de padronização existentes que têm relação direta com este trabalho foram apresentadas; elas servirão de base para o desenvolvimento do MOSAICo, e, na seqüência, serão importantes instrumentos para a implementação de sistemas abertos específicos.

Os paradigmas da Engenharia de Software que orientam este trabalho são apresentados. Merecem destaque a necessidade de sistematizar a atividade de desenvolvimento de software para se atingir metas de qualidade, e a visão do processo de desenvolvimento de software como um processo de descrição de modelos em diferentes níveis de abstração e segundo diferentes pontos de vista.

Do estudo dos diferentes modelos de ciclo de vida de software, à luz das características do domínio, consideram-se especialmente adequados os modelos que explicitam o caráter evolucionário do software, como os modelos incremental e espiral. Também o uso de protótipos, como técnica auxiliar para a elicitação de características e requisitos juntamente com os potenciais usuários, é considerado importante.

Independente do modelo efetivamente adotado quando de futuras implementações de sistemas, é conveniente ter em mente a conveniência da ênfase nas fases iniciais de análise, como condição para assegurar a completeza da especificação e reduzir os custos devidos a alterações futuras.

O paradigma de orientação a objetos é apontado como tendo vantagens significativas em relação aos demais, particularmente por facilitar o entendimento de problemas complexos, a comunicação entre desenvolvedores e usuários, o mapeamento entre o domínio do problema e o sistema, proporcionar uma boa e robusta estrutura ao sistema, particularmente em relação a mudanças de requisitos.

Dois métodos particulares (OMT e OOSE) são parcialmente apresentados, visando elucidar os conceitos e notação básicos que serão utilizados no desenvolvimento do modelo MOSAICo.

Finalmente, apresentam-se conceitos sobre a disciplina de Análise de Domínio, os quais evidenciam o caráter semelhante dado ao desenvolvimento deste trabalho, que trata da obtenção de um modelo para uma classe de sistemas de informações para um domínio, a AP.

CAPÍTULO 5

UM MÉTODO COMBINADO DE MODELAMENTO PARA O MOSAICO

5. UM MÉTODO COMBINADO DE MODELAMENTO PARA O MOSAICO

5.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se o método adotado para o modelamento do MOSAICO, delineado com base nos fundamentos apresentados no Capítulo 4. A definição do método baseou-se nos seguintes objetivos:

- cobrir apenas até a fase de análise do ciclo de desenvolvimento de sistemas, em função do escopo proposto para o MOSAICO, qual seja, o de um modelo de meta-sistema;
- procurar obter uma estrutura robusta em relação a mudanças, tendo em vista as características atuais do domínio;
- incorporar um prévio e profundo estudo do domínio do problema para possibilitar uma visão abrangente do ambiente onde se inserem os sistemas de informação;
- utilizar conceitos e notações que facilitem a comunicação com usuários.

Com base nesses objetivos, o paradigma de objetos foi o adotado, em função de suas características e da sua particular adequação ao tipo de abordagem adotada. O método propriamente dito resulta de uma composição de conceitos e notações de dois métodos de modelamento orientados a objetos distintos propostos na literatura, o método OMT (RUMBAUGH et al. (1997)), e o método OOSE (JACOBSON et al. (1991)), anteriormente apresentados, aproveitando o que cada um tem de mais adequado para a fase de análise do modelamento.

O método híbrido resultante é aplicado num meta-nível, isto é, visa a obtenção de modelo de meta-sistema.

O método foi ainda estendido, incorporando-se uma etapa de Pré-análise, que se baseou em conceitos da Análise de Domínio para a captura de conhecimento, com vistas à definição dos requisitos e características dos sistemas para a AP.

A seguir apresentam-se o método e os produtos das atividades previstas.

5.2 Modelos

O método proposto apresenta dois tipos de modelo, denominados Modelo de Requisitos e Modelo de Análise, seguindo a proposta de JACOBSON et al. (1991).

O Modelo de Requisitos baseia-se no conceito e na notação de casos de uso do mesmo autor. É composto de um Modelo de Casos de Uso e de uma Descrição dos Casos de Uso, esta na forma textual.

Em relação à notação proposta pelos autores do método, resolveu-se adotar uma diferenciação entre atores humanos e atores-máquinas, de modo a facilitar o entendimento do modelo e evitar confusões acerca do significado dos papéis. Por exemplo, um papel de "aplicador de insumos" pode se referir a uma máquina ou a uma pessoa. Embora essa distinção nem sempre seja necessária (ou conveniente) num nível alto de abstração, ela auxilia a compreensão e a perda de generalidade não compromete o modelo.

A notação adotada para descrever os casos de uso passa a ser, então, a apresentada na Figura 5.1.

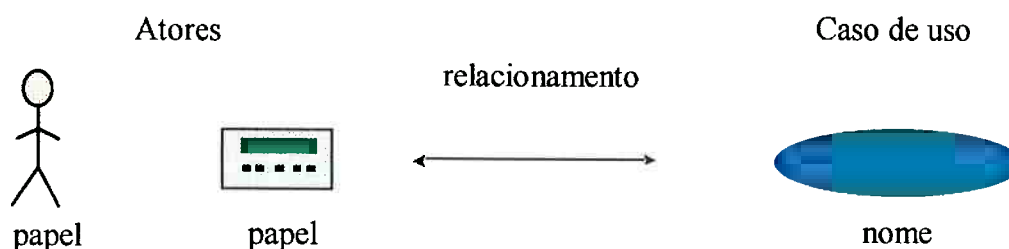


Figura 5.1 - Notação adotada para o Modelo de Casos de Uso.

Adaptada de JACOBSON et al. (1993)

O Modelo de Análise baseia-se no conceito de objetos, e adota a notação de RUMBAUGH et al. (1997). O modelo é, a princípio, composto de três outros modelos do método OMT, ou seja, Modelos de Objetos, Dinâmico e Funcional, os quais apresentam aspectos diferentes do problema. Destes, o Modelo de Objetos é o mais importante e é essencial, enquanto os demais têm importância variável em função do tipo de aplicação.

Ainda neste Modelo de Análise, adotou-se o Modelo de Subsistemas proposto pelos autores, como recurso complementar para permitir a descrição de sistemas de uma certa complexidade, ou para evidenciar a possibilidade de reuso de subsistemas, entre outras razões.

5.3 Método

O método propriamente dito consiste em duas fases, denominadas de Pré-análise e Análise.

A fase de Pré-análise visa a definição dos requisitos da classe de sistemas. Para essa definição, são utilizados conceitos e recursos tanto da Análise de Domínio (ARANGO; PRIETO-DÍAZ, 1991b), como do método OOSE.

A primeira atividade consiste na identificação das fontes de conhecimento sobre o domínio. Entre estas fontes destaca-se a literatura técnica tradicional, como artigos em periódicos e em anais de congressos, porém uma grande ênfase foi dada aos especialistas no domínio, tendo em vista a rápida evolução da área e a grande quantidade de informação recente não documentada. O usuários de sistemas também seriam fontes de extrema importância, todavia uma dificuldade extra neste sentido foi a escassez deles no nosso país, em função do estágio de adoção da tecnologia. O acesso a sistemas em operação ou a propostas de outros sistemas também foi considerado de grande relevância, na medida em que poderia expor tanto os requisitos identificados por outros usuários, como os problemas e soluções para as implementações específicas, numa forma de engenharia reversa.

O acesso a essas fontes foi possibilitado pelo uso da *World Wide Web*, que foi decisiva para a obtenção de informações não documentadas diretamente dos pesquisadores e usuários. A rede também provou ser de grande valia na obtenção de informações em mídias alternativas às tradicionais, como documentos *on-line*. Fundamental importância também teve a participação em congressos da área¹, ao longo

¹ 6th International Conference "Computers in Agriculture", Cancún, 10-13/Maio/96; Third International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, 23-26/Jun/1996; International Meeting of the ASAE, Phoenix, 14-17/Jul/1996; I Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária, São Carlos, 27-29/Nov/96; Seminário Temático para prospecção de demandas em pesquisa e desenvolvimento em mecanização agrícola no Brasil, Sete Lagoas, 13-15/Maio/97; I Congresso da Sociedade Brasileira de Informática Aplicada à Agropecuária e à

do período de realização deste trabalho, justamente pela rapidez com que se pôde obter informações atualizadas, acompanhar tendências, e antecipar requisitos futuros.

Com base na enorme quantidade de material coletado, segue-se um estudo do domínio do problema da AP como um todo e, especificamente, dos sistemas de informação a ela destinados. Esse estudo visou adquirir e consolidar o conhecimento e a terminologia específica do domínio. Uma documentação dos resultados dessa atividade são os textos do Estudo do Domínio da AP e dos Sistemas de Informação para a AP, os quais foram anteriormente apresentados nos capítulos 2 e 3.

A partir desse estudo, a próxima atividade envolve a criação de um texto básico de referência, denominado de Enunciado do Problema. O texto visa definir um primeiro conjunto de requisitos do sistema, principalmente do ponto de vista da sua funcionalidade de alto nível. Apesar das ambigüidades que são inerentes à descrição textual, ele serve como ponto de partida para a descrição de um Modelo de Requisitos, realizada na seqüência.

O Modelo de Requisitos procura, a partir do Enunciado do Problema, avançar na formalização dos requisitos dos sistemas, e, para tanto, utiliza o conceito dos casos de uso. O objetivo é apoiar-se fortemente nas necessidades dos usuários sob o ponto de vista das funcionalidades dos sistemas. Com base nesse texto, e com referência também na análise de outros sistemas existentes ou apenas propostos, a atividade seguinte é a descrição de um Modelo de Casos de Uso.

Associada ao modelo está uma Descrição dos Casos de Uso, textual, que explicita a seqüência de interações atores-sistema e que contribui para detalhar o significado dos casos de uso, e as informações trocadas pelos sistemas com seus usuários.

Com essas três descrições, conclui-se o Modelo de Requisitos e a fase de Pré-análise.

Na fase de Análise, o objetivo é obter um modelo do domínio do problema, sem levar em consideração aspectos de implementação. Isto é feito segundo a abordagem orientada a objetos, identificando aqueles objetos do domínio do problema, seus relacionamentos e sua estruturação que melhor reflitam o domínio. A base para essa atividade são os requisitos identificados nos casos de uso do Modelo de Requisitos anteriormente criado, e também o conhecimento do domínio e de sua terminologia adquiridos no estudo do domínio, ambos na fase de Pré-análise.

A fase de Análise é a que efetivamente utiliza a abordagem orientada a objetos. O resultado dessa atividade de mapeamento do domínio em termos de objetos é um Modelo de Objetos. Este é o modelo mais importante da fase de Análise. Como complemento aos diagramas desse modelo, uma Descrição das Classes de objetos é apresentada na forma de texto.

Além do Modelo de Objetos, os Modelos Dinâmico e Funcional podem ser utilizados para descrever outros aspectos do problema, se aplicável, conforme descrito no capítulo 4.

O Modelo de Subsistemas é adicionalmente utilizado para auxiliar a descrição da estrutura, pela partição do modelo de objetos em subsistemas. Essa estruturação hierárquica das classes de objetos em subsistemas, além de melhorar o entendimento das várias partes que compõem o modelo, tem por objetivo identificar as perspectivas de implementação de sistemas específicos a partir da integração de subsistemas independentes que atendam às premissas do modelo.

5.4 Considerações finais

Neste capítulo foi apresentado o método de modelamento adotado para o MOSAICo. Foram apresentados os dois tipos de modelos - Modelo de Requisitos e Modelo de Análise, os quais, por sua vez, são compostos de outros modelos e descrições textuais.

Foi apresentada ainda a seqüência de fases e atividades do método. Ele compreende as fases de Pré-análise e Análise, restringindo-se assim às fases iniciais do ciclo de desenvolvimento de sistemas, em função do caráter de meta-sistema do

MOSAICO. O modelo não comporta, portanto, um detalhamento maior sob pena de perder em generalidade e aplicabilidade.

No Capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos da aplicação do método.

CAPÍTULO 6

MOSAICO

6. MOSAICo

6.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se uma proposta de um Modelo de Objetos para Sistemas Abertos de Informações de Campo - MOSAICo.

O modelo não detalha um sistema em particular, mas uma classe de sistemas, e deve ser entendido como um modelo de meta-sistema. O objetivo é identificar as características gerais que devem orientar o desenvolvimento de sistemas específicos para suporte às atividades em agricultura de precisão, que possam atender às necessidades da aplicação, superando os problemas encontrados até o momento nos poucos sistemas existentes.

Trata-se, portanto, de um modelo conceitual num nível mais abstrato, que propositadamente relega aspectos implementacionais para etapas futuras. Dessa forma, permite-se que o modelo seja independente desses aspectos e, com isso, possa abarcar diferentes implementações futuras e diferentes sistemas existentes.

O modelo foi desenvolvido com base nas premissas apresentadas nos capítulos anteriores do texto, e segue o método descrito no Capítulo 5.

6.2 Fase de Pré-Análise

As etapas iniciais da Pré-análise envolveram uma ampla aquisição de conhecimento para o estudo do domínio do problema. Dessa atividade resultaram os textos anteriormente apresentados nos Capítulos 2 e 3.

Como continuidade das atividades da fase, foram desenvolvidos um Enunciado do Problema e um Modelo de Requisitos, apresentados a seguir.

6.2.1 Enunciado do problema

É necessário um sistema de informações de campo, para dar suporte à utilização da tecnologia de Agricultura de Precisão em propriedades agrícolas. O sistema deve auxiliar a tomada de decisão no gerenciamento e, para tanto, receberá como entradas

informações sobre a propriedade, sobre a cultura a ser gerenciada, e sobre a variabilidade espacial e temporal dos diversos parâmetros de interesse. Com base nesse conjunto de informações, o sistema deve permitir a análise de diversos cenários de gerenciamento, sobre os quais se apoiará a tomada de decisão para atingir os objetivos de produção. No fim desse processo, o sistema deve produzir recomendações de manejo, na forma de mapas de taxa de aplicação de insumos, que serão convenientemente transferidos para equipamentos de controle, os quais atuarão nas máquinas no campo para realizar a aplicação em taxa variável.

Duas categorias básicas de usuários terão acesso ao sistema. Uma primeira categoria é a dos seus usuários finais, os operadores do sistema de informação, aqueles a quem se destina efetivamente o sistema. A segunda categoria de usuários do sistema é a do gerente de configuração.

O objetivo do operador do sistema de informação é o de obter apoio na tomada de decisão na recomendação das práticas de campo em AP. Seu contato com o sistema envolverá a entrada dos dados de campo, e a realização de uma seqüência de tarefas sobre esses dados, visando, finalmente, obter um mapa de recomendação de aplicação localizada de insumos.

O gerente de configuração será o responsável pela preparação do sistema e pela sua configuração para um determinado escopo de utilização. Sua atividade incluirá a introdução de informações sobre as culturas e sobre as operações agrícolas para as quais o sistema oferecerá suporte. É ele quem define os conhecimentos agronômicos aplicáveis à região e às culturas em questão, inserindo as regras de manejo e as informações sobre insumos e equipamentos de mercado. É também o gerente quem define e introduz as receitas de tarefas e os atalhos de automação (definidos mais adiante no texto) a serem utilizados pelo operador para facilitar a utilização do sistema. Cabe também ao gerente o cadastramento de um determinado operador.

A entrada de dados pelo operador, para uma nova área ou talhão, inicia-se pelos dados da propriedade, seu proprietário e pela delimitação dos talhões, e pode opcionalmente incluir a definição de uma grade de células de trabalho a ser adotada.

O sistema deve permitir a entrada de dados de campo vindos de várias fontes e em vários formatos. No procedimento de entrada desses dados amostrados, o operador deve indicar sua fonte e outros dados necessários para sua correta caracterização. Esse procedimento de entrada de dados deve ser automático na medida do possível, podendo os dados ser obtidos de equipamentos de coleta de dados, como monitores de colheita, ou de imagens e fotos digitalizadas, por exemplo. Deve ser possível também a entrada de dados manuais, tanto de variáveis espacialmente referenciadas, como de variáveis escalares.

Os dados amostrados devem, via de regra, sofrer algum tipo de correção devido à existência de erros inerentes ao processo de coleta, por exemplo erros de posicionamento devido ao uso do sistema GPS. O sistema deve prover procedimentos de correção de erros, por exemplo incorporando os softwares proprietários de correção diferencial (DGPS) dos fornecedores de receptores GPS, no caso desses erros de posicionamento, e também softwares de correção de tempo de atraso (*lag-time*) dos monitores de colheita.

Nesses arquivos corrigidos, pode haver mais de um atributo para cada posição de campo amostrada. A transformação desses arquivos em uma série de camadas de mapas, que permitam uma visualização e uma avaliação quantitativa da variabilidade espacial do parâmetro, será feita com a intervenção do operador.

A irregularidade da amostragem dos dados em campo, as falhas nos equipamentos de coleta, e no sistema de posicionamento, entre outros motivos, provocam uma distribuição espacial desuniforme dos dados amostrados, a qual precisa ser compensada por técnicas como a de interpolação. Esse processamento visa permitir a definição de isolinhas, ou linhas de iso-valor para a variável mapeada, ou ainda visa a atribuição de valores a cada uma das células da grade. Para suprir essa necessidade, técnicas estatísticas, geoestatísticas ou de processamento de imagens, devem estar contempladas no sistema. As camadas de dados obtidas após esses processamentos serão a base sobre a qual será feita a manipulação dos dados.

A partir dessas camadas de dados básicas existentes, o sistema deve prover meios para se obterem camadas de dados adicionais, derivadas das anteriores, as quais não

representam diretamente parâmetros de campo, mas são abstrações obtidas a partir daqueles dados originais. Uma camada de zonas uniformes de manejo dentro do talhão é um exemplo dessas camadas de dados secundárias, que podem ser obtidas a partir do cruzamento de camadas de dados básicas. O objetivo delas é prover mais informações para uma análise pelo operador, visando identificar causas de variabilidade, correlações entre parâmetros, e tendências de comportamento dos parâmetros, por exemplo.

Uma dessas camadas de dados secundárias, por exemplo uma camada de zonas de manejo uniforme, será finalmente escolhida como referência para a aplicação, sobre ela, das regras agronômicas para cálculo das quantidades de insumo a aplicar em cada ponto do talhão, resultando no mapa de aplicação do insumo em questão.

Esse mapa será então utilizado para gerar o arquivo que será transferido para um determinado equipamento controlador de aplicação, para a atuação em campo. Essa geração do arquivo é específica para cada equipamento controlador, na medida em que considera seus parâmetros e formatos na definição do arquivo.

Uma intervenção manual em qualquer dos mapas, por meio de recursos de edição, deve ser possível a fim de permitir a introdução de observações efetuadas em campo pelo operador ou por outra pessoa.

Na geração de mapas de aplicação, e no apoio à decisão sobre a estratégia de gerenciamento, a geração de cenários é importante, pois permite estimar resultados e avaliar previamente a adequação das diversas práticas que se pretende adotar. Nessa etapa, o uso de modelos de simulação de vários tipos tem papel importante. Exemplos desses modelos são os relativos à planta (modelos de crescimento, de produção da cultura, de consumo de nutrientes), modelos relativos ao solo (perdas de solo, perdas de nutrientes), modelos climatológicos, e modelos mercadológicos de preços de produtos. O sistema deve prever o uso desses modelos de simulação para gerar camadas adicionais de dados simulados.

Para auxiliar o operador no uso do sistema, dois recursos importantes deverão estar disponíveis: as receitas de tarefas e os atalhos de automação.

As receitas de tarefas compreendem conhecimento, previamente desenvolvido por determinado operador ou pela Pesquisa Agronômica, sobre os métodos adequados à realização de determinadas tarefas no sistema, sobre seus parâmetros e sobre sua aplicabilidade àquelas condições de campo, de cultura e ao próprio perfil do produtor. Um exemplo de receita poderia simplesmente ser o que detalha como utilizar um certo método geoestatístico para obter linhas de iso-valor para um mapa de teor de potássio no solo, a partir da camada de dados primária do teor de K nas amostras de solo. Outras receitas poderiam incluir múltiplas operações em seqüência, como o cruzamento de determinados mapas de solo e de produtividade para obter mapas de zonas de manejo uniforme.

As receitas são, portanto, procedimentos previamente estabelecidos e validados, que guiam o operador na utilização dos recursos existentes no programa. Elas podem ser consultadas na tela pelo operador, para a realização das diversas tarefas.

Um dos objetivos é permitir, pela formalização desse conhecimento, uma comparação de dados e resultados de diferentes períodos e locais, mediante a utilização de procedimentos comuns de processamento (como um mesmo método de análise, por exemplo).

Essas receitas podem ser desenvolvidas para as diversas etapas da utilização do sistema: entrada de dados, análise da variabilidade, simulações, geração de mapas de aplicação, e geração de arquivos de saída para controladores. Para todas elas a seleção de dados de entrada, a conversão de formatos, e a seleção de métodos e parâmetros, conterão algum tipo de orientação para o operador.

Para tarefas de uso freqüente, ou complexas demais, essas receitas poderão inclusive ser disponibilizadas na forma de atalhos, acessíveis via botões, ícones, ou teclas especiais.

Com esse recurso, seqüências de operações requeridas do operador dentro de uma tarefa específica, como a seleção de métodos e modelos, a seleção de parâmetros, entre outras ações, são realizadas sem a intervenção dele. Desse modo, tornam-se automáticos e transparentes para o operador os diversos métodos de análise subjacentes

ao atalho executado, o que é particularmente interessante, mormente se o operador tiver pouca familiaridade com esses métodos.

Todos os arquivos criados ou manipulados pelo sistema devem seguir um sistema de nomes e de armazenamento coerente, de forma a permitir sua fácil identificação, localização e recuperação, com base no seu conteúdo e origem (como a propriedade e o talhão, por exemplo). Além disso, é fundamental que o sistema guarde, junto com cada arquivo, um histórico sobre a sua criação e as alterações sofridas, quais os conjuntos de dados utilizados, os processamentos realizados, os parâmetros adotados, etc. Tal informação deve estar facilmente disponível para o operador.

O sistema deve incorporar uma série de informações e conhecimento agrônômico que serão utilizados nas diversas tarefas de apoio à tomada de decisão. Incluem-se aqui regras de manejo agrícola para cada cultura a que se destine o sistema, e uma base de dados de equipamentos e insumos, as quais serão introduzidas pelo gerente como parte de sua atividade de configuração.

As regras de manejo representam o conhecimento das práticas de campo resultantes de experimentação agrônômica. São específicas para cada cultura, e envolvem conhecimento sobre cada uma das várias operações de campo, como preparo de solo, plantio, adubação, manejo fitossanitário, irrigação, etc, para aquela cultura.

A base de dados de insumos e equipamentos contém o conjunto das informações básicas sobre os insumos e equipamentos comerciais que poderão ser utilizados nas operações que o sistema suporta. Estes dados serão utilizados, por exemplo: nos cálculos das quantidades a serem aplicadas, com base nos teores de princípios ativos/nutrientes nos produtos; nos cálculos econômicos, com base nos preços; na geração de arquivos de aplicação exportáveis para controladores, com base nos dados dos controladores e das máquinas agrícolas disponíveis. Essa base de dados visa permitir que o sistema trabalhe sobre produtos reais de mercado.

Dada a abrangência potencial do sistema e a relativa independência das diversas tarefas e operações, o sistema deverá ser disponibilizado em módulos, podendo ser

gradativamente acrescido de novas funcionalidades, dar suporte a novas culturas, a novos métodos de análise, etc.

O sistema deverá ser implementado com base numa arquitetura aberta, em mecanismos padronizados de interligação de componentes de software, e deverá se pautar, tanto quanto possível e conveniente, na integração de pacotes comerciais e institucionais disponíveis, como sistemas GIS, sistemas para análises geoestatísticas, sistemas especialistas, modelos de crescimento de plantas, modelos de perdas de nutrientes no solo, entre outros. Esses componentes poderão ser provenientes de diversas plataformas de software e hardware, constituindo um ambiente computacional potencialmente bastante heterogêneo e futuramente distribuído. Em função disso, deve ser modelado independente da ou das plataformas de computação distribuída (DCPs - *distributed computing platforms*) em que venha a ser implementado, mas deve se apoiar no pressuposto da existência desses padrões.

6.2.2 Modelo de Requisitos

O Modelo de Requisitos adotado consiste em um Modelo de Casos de Uso e de uma Descrição dos Casos de Uso.

O Modelo de Casos de Uso é um diagrama que apresenta uma delimitação do sistema na sua relação com o mundo externo. O conceito de atores, já apresentado, é utilizado para expressar toda e qualquer entidade, humana ou não, que interfaceia com o sistema e com ele troca informações.

Ainda nesse modelo, dentro da representação do sistema, os casos de uso simbolizam as formas como essas entidades externas utilizam o sistema, ou são por ele utilizadas. Os casos de uso podem ser entendidos como uma macro-abstração das funcionalidade do sistema.

A Descrição dos Casos de Uso é um texto que detalha a seqüência de eventos da interação entre o sistema e os atores, cada seqüência representando um caso de uso. Essa descrição detalhada permite identificar aspectos da interface de operação, mas principalmente os conteúdos intercambiados entre atores e sistema, que serão a base para as demais etapas do modelamento, quando se buscará identificar as classes de objetos

que devem integrar a estrutura do sistema. Os casos de uso apresentados no diagrama são divididos em sub-casos de uso na descrição.

6.2.2.1 Modelo de casos de uso

Neste diagrama, pode-se identificar quatro atores: operador, gerente, equipamento coletor de dados, e equipamento controlador de aplicação.

Três casos de uso envolvem os atores e o sistema: Inserir dados de campo, Gerar mapas, e Configurar o sistema. A Figura 6.1 apresenta o Modelo de Casos de Uso do MOSAICo.

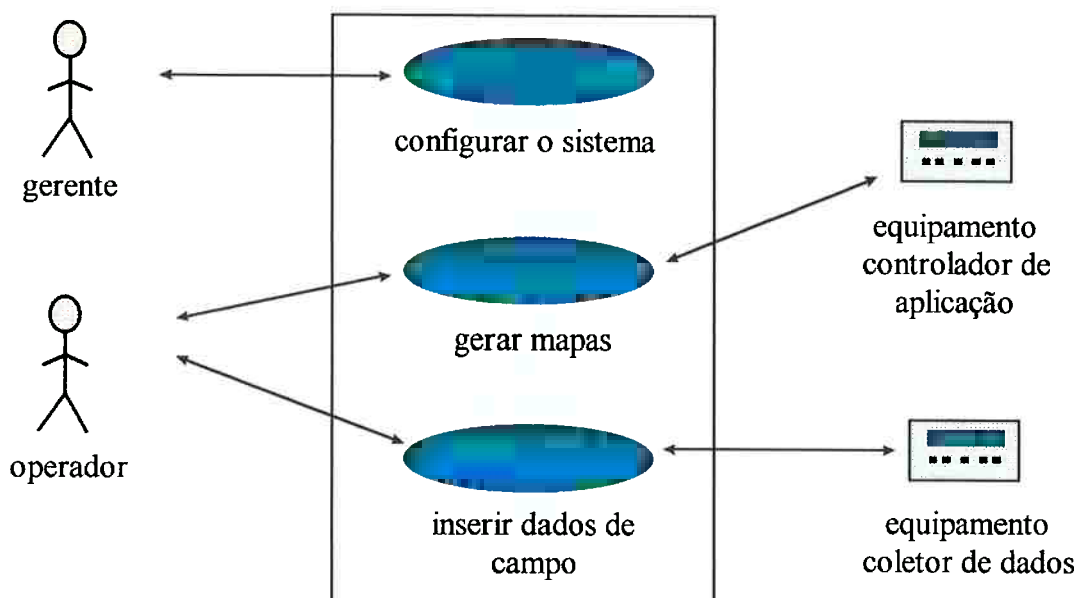


Figura 6.1 - Modelo de Casos de Uso do MOSAICo

6.2.2.2 Descrição dos casos de uso

Os três casos de uso originais apresentados no Diagrama de Casos de Uso, Inserir dados de campo, Gerar mapas, e Configurar o sistema, são subdivididos cada um numa série de sub-casos de uso, para então serem detalhados numa descrição da seqüência de interações sistema - atores. Esse detalhamento é apresentado a seguir.

a) Caso de uso: Inserir dados de campo

O caso de uso "Inserir dados de campo" compreende o registro de novos proprietários e propriedades agrícolas, seus talhões, e a entrada de dados de campo amostrados para arquivos no sistema. Os seguintes sub-casos de uso podem ser identificados:

Registro de novo proprietário

1. O operador deve informar os dados pessoais do produtor, como:
 - o nome e o endereço;
 - outros dados pessoais e informações, na forma de um texto livre.

Registro de nova propriedade agrícola

1. Para cadastrar nova propriedade agrícola, o operador fornece dados básicos desta, como:
 - nome da propriedade e seu endereço;
 - nome do proprietário, podendo selecionar de uma lista de nomes prévia;
 - texto descritivo opcional.

Registro de novo talhão

1. Para iniciar o cadastramento de um novo talhão, o operador deve fornecer as seguintes informações de identificação do talhão:
 - o nome e um código para o talhão;
 - identificação da fazenda a que pertence: nome da propriedade, podendo selecionar de uma lista prévia;
 - texto descritivo opcional.

2. A seguir, o operador deve fornecer os dados dos sistemas de coordenadas dos dados e dos mapas, especificando:
 - sistema de projeção cartográfica utilizado para conversão de coordenadas globais em locais e vice-versa (por exemplo UTM);
 - sistema de coordenadas a ser utilizado nos mapas, que pode ser local ou global;
 - ponto origem local e referência do sistema de coordenadas local (ponto no eixo y e ângulo do eixo y com o norte).
3. A seguir, o operador deve fornecer os dados dos limites físicos do talhão. O operador pode escolher entre a entrada manual dos dados, a entrada por um arquivo de dados, a leitura dos dados diretamente de algum equipamento de coleta de dados, ou ainda a definição dos contornos diretamente com o *mouse*.
4. Se optar pela entrada manual dos dados, o operador especifica antes o sistema de coordenadas utilizado nesses dados (local ou global). Em seguida procede à entrada dos dados do contorno do talhão. Ele fornece ainda informações sobre esses dados: data da obtenção, equipamento utilizado, pessoa responsável, que são anexadas ao arquivo de dados de registro gerado.
5. Se optar pela entrada de dados através de um arquivo, deve fornecer o nome e caminho completo do arquivo de origem, ou utilizar um *browser* para localizá-lo. O operador fornece ainda informações sobre esses dados: data da obtenção, equipamento utilizado, responsável, que são anexadas ao arquivo de dados de registro gerado. O operador fornece o nome desse arquivo de dados de registro de talhão.
6. Se optar por efetuar a leitura dos dados de algum coletor de dados (p. ex. receptor GPS), deve especificar o tipo de equipamento, selecionado de uma lista prévia. Deve fornecer ainda os parâmetros de comunicação que tiverem

que ser configurados para aquele equipamento, que são solicitados automaticamente (porta de comunicação serial, taxa). O operador fornece o nome do arquivo de dados de registro de talhão, bem como informações adicionais sobre a obtenção dos dados.

7. Pode, finalmente, optar pela definição dos pontos com o *mouse*, aproveitando a exibição em tela das coordenadas locais (x,y). O operador fornece o nome do arquivo de dados de registro de talhão, bem como informações adicionais sobre a obtenção dos dados.
8. O operador pode, opcionalmente, especificar uma grade de células que deseja para o talhão, fornecendo:
 - tamanho das células, que são retangulares, e podem ser especificadas diretamente em metros ou indiretamente em termos de números de linhas e de colunas em que se pretende dividir o talhão;
 - orientação da grade, que pode ser paralela aos eixos dos sistema de coordenadas, paralela à maior dimensão do talhão, ou especificada pelo ângulo formado com o eixo x.

Leitura de dados amostrados a partir de dispositivos externos

1. Para iniciar a entrada de dados de dispositivos externos, o operador deve informar o dispositivo de origem dos dados, selecionando entre os *drives* de disco ou de cartão PCMCIA, porta serial ou rede.
2. Ele deve especificar o local a que se referem os dados, fornecendo a identificação da fazenda e do talhão, selecionando entre os já cadastrados.
3. Para arquivos disponíveis nos *drives* (discos ou cartão PCMCIA) ou em rede, o operador deve:
 - localizar o arquivo (cujo formato segue padrão aceito pelo sistema), utilizando um *browser*, ou dar o caminho e nome completos;

- fornecer o caminho e nome do arquivo de dados amostrados a ser gerado, segundo o sistema de nomes e de arquivos do sistema, para o que pode selecionar dentre uma lista de nomes e diretórios possíveis, de acordo com o talhão e a fazenda em questão.
4. Para transferência de arquivos de outros dispositivos por porta serial, o operador deve:
- selecionar o tipo do dispositivo dentro uma lista de dispositivos aceitos (e cujo formato segue padrão aceito pelo sistema);
 - configurar parâmetros eventualmente necessários para aquele dispositivo, conforme lhe sejam solicitados (p.ex. taxa de transferência, número da porta serial);
 - fornecer o caminho e nome do arquivo de dados amostrados a ser gerado, segundo o sistema de nomes e de arquivos do sistema, para o que pode selecionar dentre uma lista de nomes e diretórios possíveis, de acordo com o talhão e a fazenda em questão.

O arquivo de dados amostrados gerado contém informações sobre a forma de obtenção dos dados, como o equipamento de coleta de dados utilizado, data, responsável, etc.

Alternativamente, o operador pode selecionar um atalho eventualmente existente para realizar essa tarefa automaticamente. Pode, ainda, consultar o assistente de tarefas para auxiliá-lo a realizar essa tarefa, seja através da referência a uma receita de tarefa, seja através da referência à base de dados de equipamentos.

Entrada manual de dados amostrados

1. Para a entrada de dados manual, o operador deve especificar o local a que se referem os dados, fornecendo a identificação da fazenda e do talhão, selecionando entre os já cadastrados.

2. Deve selecionar um nome para o arquivo de dados amostrados a ser gerado, e seu caminho, de acordo com o esquema de nomes e de arquivos do sistema.
3. Deve selecionar a forma de entrada dos dados, por célula ou por ponto. A entrada por célula só é possível se, anteriormente, houve a definição da grade de células do talhão.
4. Deve informar o número de atributos por ponto amostrado, seus nomes e tipos.
5. Para entrada por célula, o operador deve selecionar a célula graficamente e entrar com o valor do atributo.
6. Para a entrada por ponto, deve escolher o sistema de coordenadas dos dados (global ou local), e então entrar com as tuplas de valores para cada ponto.
7. O operador entra também com dados sobre a forma de obtenção dos dados, como data da coleta, métodos e equipamentos de coleta de dados, responsável, método de análise, etc. O arquivo de dados amostrados gerado contém também essas informações sobre a forma de obtenção dos dados.

b) Caso de uso: Configurar o sistema

Ao selecionar "Configurar o sistema", o gerente poderá editar a base de conhecimento, composta por regras de manejo, a base de dados de insumos e equipamentos de mercado, bem como as receitas de tarefas, e os atalhos de automação do sistema.

Configuração de regras de manejo

1. Após optar por configurar as regras de manejo, o gerente seleciona entre editar, excluir ou introduzir uma cultura.
2. Para inserir uma nova cultura o gerente deve fornecer o nome da nova cultura.

3. Para editar ou excluir uma cultura, ele seleciona a cultura, da lista de culturas existentes.
4. Só é possível excluir uma cultura após ter excluído todas as operações para aquela cultura.
5. Tendo selecionado editar uma cultura, o gerente escolhe, então, entre editar, excluir ou inserir uma operação, para aquela cultura.
6. De modo análogo, só é possível excluir uma operação quando todas as regras referentes àquela operação tiverem sido excluídas. Para inserir nova operação para aquela cultura, o gerente deve fornecer o nome da operação. Para editar uma operação, ele a seleciona entre as existentes.
7. Tendo selecionado editar uma operação, o gerente seleciona entre inserir, excluir ou editar uma regra.
8. Para excluir uma regra, ele a seleciona e a exclui. Pode, ainda, selecionar blocos de regras.
9. Para editar uma regra, o gerente a seleciona e entra no modo de edição, digitando-a.
10. Para inserir nova regra, ele entra no modo de edição, digitando-a.

Configuração da base de dados de insumos e equipamentos

1. Após optar por configurar a base de dados de insumos e equipamentos, o gerente seleciona o item que deseja alterar da base, escolhendo entre insumos ou equipamentos.
2. Dentro de insumos, ele seleciona entre manejo de fertilidade (fertilizantes, corretivos), manejo de ervas daninhas (herbicidas), manejo de pragas (inseticidas), manejo de doenças (fungicidas, bactericidas) e outros (hormônios).

3. Dentro de equipamentos, o gerente seleciona entre coleta de dados (monitores de colheita, coletores de dados, receptores GPS, monitores de semeadura, de perdas, etc), controladores de aplicação, equipamentos de posicionamento (receptores GPS ou outros).
4. O gerente seleciona entre editar, adicionar ou excluir um item da base de dados.
5. Para editar um item, ele deve selecionar um item da lista de itens existente, e então alterar os parâmetros desejados do item em questão.
6. Para excluir um item, deve selecionar um item da lista de itens existente, e então confirmar a sua exclusão.
7. Para adicionar um item, ele deve inserir os parâmetros do novo item, como nome, código, fabricante e modelo, e características técnicas.

Configuração de receitas de tarefas

1. Ao selecionar a configuração de receitas de tarefas, o gerente opta entre editar, inserir ou excluir uma receita.
2. Para excluir uma receita, ele seleciona a receita em questão, da lista de receitas existentes, e confirma a exclusão.
3. Para editar uma receita, ele a seleciona de uma lista, e edita os parâmetros desejados, salvando-a em seguida.
4. Para inserir nova receita, o gerente pode optar por partir de uma receita existente, ou entrar com todas as informações.
5. Se optar por partir de uma pré-existente, ele seleciona de uma lista a receita que lhe servirá de modelo, efetua as alterações desejadas e, ao salvá-la, necessariamente fornece outro nome.
6. Se optar por inserir todas as informações, o gerente deve digitar a tarefa a que se refere a receita (como interpolação, análise de correlação, geração de

mapa de aplicação, geração de arquivo de saída de controlador, etc.), o método utilizado, os parâmetros do método, o gerente da receita, o local de aplicação da receita, seu nome, e comentários.

Configuração de atalhos para automação de tarefas

1. O gerente pode escolher entre inserir, excluir e editar um atalho.
2. Para inserir um atalho, ele deve informar um nome, forma de disponibilização (menu, teclado, ícone).
3. Deve proceder à programação das tarefas a serem realizadas, especificando os métodos/operações/funções, bem como os seus parâmetros. Nesta etapa, o gerente pode valer-se do assistente de tarefas, para consulta às receitas previamente catalogadas, às regras da base de conhecimento e à base de dados.
4. Alternativamente, o gerente pode inserir um novo atalho a partir de um pré-existente, selecionado de uma lista, editando o seu conteúdo e modificando seu nome.
5. Para editar um atalho, ele o seleciona de uma lista, altera os parâmetros desejados e o salva.
6. Para excluir um atalho, o gerente o seleciona de uma lista e confirma a exclusão.

Registro de novo operador

1. O gerente é o responsável por cadastrar um novo operador para o sistema, e, para isso, deve fornecer o nome do operador, um código de usuário e sua senha.

c) Caso de uso: Gerar mapas

No caso de uso “Gerar mapas”, o operador irá trabalhar sobre os dados disponíveis no sistema para um determinado talhão. Irá efetuar correções nos dados

coletados, para eliminar erros oriundos do processo de coleta. Associará esses dados a camadas de dados ou mapas no sistema. Irá processar esses dados corrigidos com métodos geoestatísticos e de processamento de imagens, por exemplo, para homogeneizar as densidades amostrais e assim dispor de informações para todo o talhão. Irá realizar operações e manipulações sobre esses dados, utilizando os mais diversos métodos disponíveis, incluindo simulações de modelos, a fim de obter outros conjuntos de dados para auxiliar na análise e tomada de decisão. Por fim, irá gerar um mapa de recomendação de aplicação para cada insumo de interesse, e com base nesse mapa, um arquivo exportável para um equipamento controlador de aplicação. Em todo esse processamento, irá apoiar-se na base de conhecimento e na base de dados de insumos, bem como nas receitas e atalhos.

Correção de arquivos de dados amostrados

1. O operador seleciona a correção de arquivos de dados amostrados, após o que uma lista de todos os arquivos é exibida. Ao selecionar um arquivo, são exibidos dados como os parâmetros, o equipamento utilizado, a data da coleta.
2. O operador é solicitado, então, a escolher o tipo de correção que deseja efetuar, entre as opções disponíveis em função dos dados apresentados na tela: correção diferencial para dados de GPS coletados sem DGPS tempo-real; correção adicional de *lag-time* para dados de monitores de colheita, se aplicável, por exemplo.

Os nomes dos novos arquivos são criados segundo o esquema de nomes do sistema. Após a correção, o arquivo criado contém as informações sobre sua forma de obtenção: nome do arquivo de dados amostrados, método de correção e parâmetros utilizados.

Alternativamente, o operador pode selecionar um atalho eventualmente existente para realizar essa tarefa automaticamente. Pode, ainda, consultar o assistente de tarefas para auxiliá-lo a realizar essa tarefa, seja através da referência a uma receita de tarefa, seja através da referência a base de dados de equipamentos.

Criação de camadas de dados primárias

1. O operador, ao selecionar a operação de criar camadas primárias, deve fornecer o nome/caminho completo do arquivo de entrada (arquivo de dados corrigidos ou arquivo de dados amostrados), ou localizá-lo com o *browser*.
2. Uma vez aberto o arquivo, cujo formato deve seguir padrão aceito pelo sistema, são listados todos os seus atributos. O operador, então, deve fazer uma associação entre o nome de cada atributo do arquivo e o nome de uma camada primária a ser criada, para os atributos que desejar. Nessa associação, os nomes de camadas são escolhidos de uma lista de nomes definida no sistema, e os tipos dos atributos (numérico ou caracter) devem ser compatíveis com os tipos das camadas.

A camada primária gerada contém as informações sobre os arquivos e dados utilizados na sua obtenção.

Alternativamente, o operador pode selecionar um atalho eventualmente existente para realizar essa tarefa automaticamente. Pode, ainda, consultar o assistente de tarefas para auxiliá-lo a realizar essa tarefa, seja através da referência a uma receita de tarefa, seja através da referência à base de dados de equipamentos.

Criação de camadas de dados básicas

1. O operador deve escolher uma camada primária de tipo numérico, de uma lista.
2. Ele seleciona o método de processamento desejado, fornecendo os parâmetros necessários ao método, quando aplicável. Entre os métodos devem estar incluídos métodos geoestatísticos, estatísticos e de processamento de imagens.
3. Se o método for o da interpolação pela média, por exemplo, o operador deve fornecer o raio de interpolação.

4. Para determinados métodos, como os derivados de *kriging*, o sistema realiza uma análise estatística dos dados corrigidos, e sugere valores de parâmetros para a interpolação. O operador pode alterar esses parâmetros para ajustar o modelo estatístico.

A nova camada de dados básica é criada e associada ao talhão segundo o esquema de nomes do sistema. A camada criada contém as informações sobre sua forma de obtenção: nome da camada de dados primária, método de processamento e parâmetros utilizados.

Alternativamente, o operador pode selecionar um atalho eventualmente existente para realizar essa tarefa automaticamente. Pode, ainda, consultar o assistente de tarefas para auxiliá-lo a realizar essa tarefa, através da referência a uma receita de tarefa, ou a informações sobre os métodos e seus parâmetros.

Edição manual de camadas de dados

1. Para editar uma camada de dados qualquer, o operador deve selecionar a camada da lista de camadas disponível, e fornecer o novo nome da camada.
2. Após a edição célula a célula, ponto a ponto, ou por regiões, de maneira gráfica, a nova camada de dados editados manualmente é salva.

A camada criada contém as informações sobre sua forma de obtenção: nome da camada de dados utilizada na edição, data, operador, e um campo para texto descritivo da edição.

Criação de camadas de dados secundárias

1. O operador seleciona a função ou método de análise que deseja aplicar entre uma lista de funções disponíveis. Exemplos dessas funções e métodos são funções matemáticas ou booleanas, e método de regressão linear e de análise multivariada.

2. Ele deve fornecer os parâmetros requeridos pelo método ou função, e selecionar as camadas de dados que serão as variáveis de entrada da função, fazendo a correspondência entre a camada e a variável.
3. O operador seleciona um nome para o arquivo a ser criado, de acordo com o esquema de nomes do sistema.

Esse arquivo contém as informações sobre sua forma de obtenção: função de obtenção, nome dos arquivos de dados utilizado na função, e um campo para texto descritivo.

Alternativamente, o operador pode selecionar um atalho eventualmente existente para realizar essa tarefa automaticamente. Pode, ainda, consultar o assistente de tarefas para auxiliá-lo a realizar essa tarefa, seja através da referência a uma receita de tarefa, seja através da referência a informações sobre os métodos e funções e seus parâmetros.

Realização de simulações de cenários

1. O operador seleciona o modelo que deseja simular, de uma lista de modelos disponíveis.
2. Ele fornece os arquivos de entrada para a simulação, e fornece os demais parâmetros necessários para a simulação.
3. Ele fornece o(s) nome(s) do(s) arquivo(s) de saída da simulação, segundo o padrão de nomes do sistema.

Após a simulação, o(s) arquivo(s) gerado(s) contém(êm) as informações dos dados utilizados na simulação.

Alternativamente, o operador pode selecionar um atalho eventualmente existente para realizar essa tarefa automaticamente. Pode, ainda, consultar o assistente de tarefas para auxiliá-lo a realizar essa tarefa, seja através da referência a uma receita de tarefa, seja através da referência a informações sobre os modelos e seus parâmetros.

Geração de mapas de aplicação.

1. O operador deve especificar a cultura alvo da aplicação, de uma lista de culturas, e o insumo cuja aplicação deseja realizar, escolhendo de uma lista de insumos (nutrientes, corretivos, agroquímicos, água).
2. Ele escolhe, então, a estratégia de recomendação desejada para o cálculo da aplicação, de uma lista das disponíveis para aquele insumo (por exemplo, para fertilização, escolher entre repor perdas de nutrientes, ou elevar nível no solo, ou ambos; obter uma meta de produtividade, uma meta econômica, etc.)
3. O operador fornece os parâmetros de entrada para o cálculo da aplicação: camada(s) de dados de entrada, e outros dados específicos segundo a estratégia escolhida.
4. Ele deve fornecer o nome do arquivo de saída, segundo o esquema de nomes do sistema.

O arquivo gerado contém as informações sobre a forma de sua obtenção.

Alternativamente, o operador pode selecionar um atalho eventualmente existente para realizar essa tarefa automaticamente. Pode, ainda, consultar o assistente de tarefas para auxiliá-lo, seja através da referência a uma receita de tarefa, seja através da referência a informações sobre as estratégias de recomendação, as regras que a compõem e os seus parâmetros.

Geração de arquivos de saída para controladores de aplicação

1. O operador deve fornecer a operação a ser controlada (pulverização, fertilização, etc.), o equipamento controlador, e o mapa de aplicação que será utilizado para gerar o arquivo. Em todos os casos, ele selecionará as entradas a partir de uma lista de possíveis opções que lhe serão apresentadas.
2. Ele deve fornecer o nome do arquivo de saída, segundo o esquema de nomes do sistema. O arquivo gerado é armazenado segundo o esquema de arquivos do sistema.

3. Para a transferência do arquivo para o controlador, o operador deve especificar a via de transferência - porta serial, cartão PCMCIA, quando houver mais de uma possibilidade para o citado equipamento, e fornecer os parâmetros necessários.

Alternativamente, o operador pode selecionar um atalho eventualmente existente para realizar essa tarefa automaticamente. Pode, ainda, consultar o assistente de tarefas para auxiliá-lo a realizar essa tarefa, seja através da referência a uma receita de tarefa, seja através da referência à base de dados de equipamentos.

Impressão de mapa

1. O operador deve selecionar o mapa que deseja imprimir, dentre as camadas existentes. Todas as camadas podem ser impressas.
2. Ele deve, ainda, configurar os parâmetros de impressão da camada de dados e da impressora.

6.3 Fase de Análise

Na Fase de Análise serão aplicados os conceitos de orientação a objetos para a criação de modelos do domínio. O modelo a ser desenvolvido é o Modelo de Análise.

6.3.1 Modelo de Análise

O Modelo de Análise apresenta a estrutura do sistema em termos dos objetos que o compõem. Integram o Modelo de Análise um Modelo de Objetos e um Modelo de Subsistemas, além de uma descrição das classes de objetos e de uma descrição dos subsistemas.

6.3.1.1 Modelo de Objetos

Na elaboração do Modelo de Objetos, julgou-se conveniente adotar a mesma divisão em casos de uso como referência para a identificação dos objetos. O Modelo de Objetos foi, então, composto de diversos Diagramas de Classes, um para cada caso de

uso. Essa abordagem foi conveniente na medida em que os casos de uso possuem uma relativa independência entre si, que permite essa divisão baseada nas funcionalidades. Obviamente, essa independência é apenas relativa, e classes de objetos comuns aparecem em mais de um Diagrama de Classes. As Figuras 6.2 a 6.5 apresentam os diagramas de classes para os três casos de uso anteriormente identificados: Inserir dados de campo, Gerar mapas e Configurar o sistema.

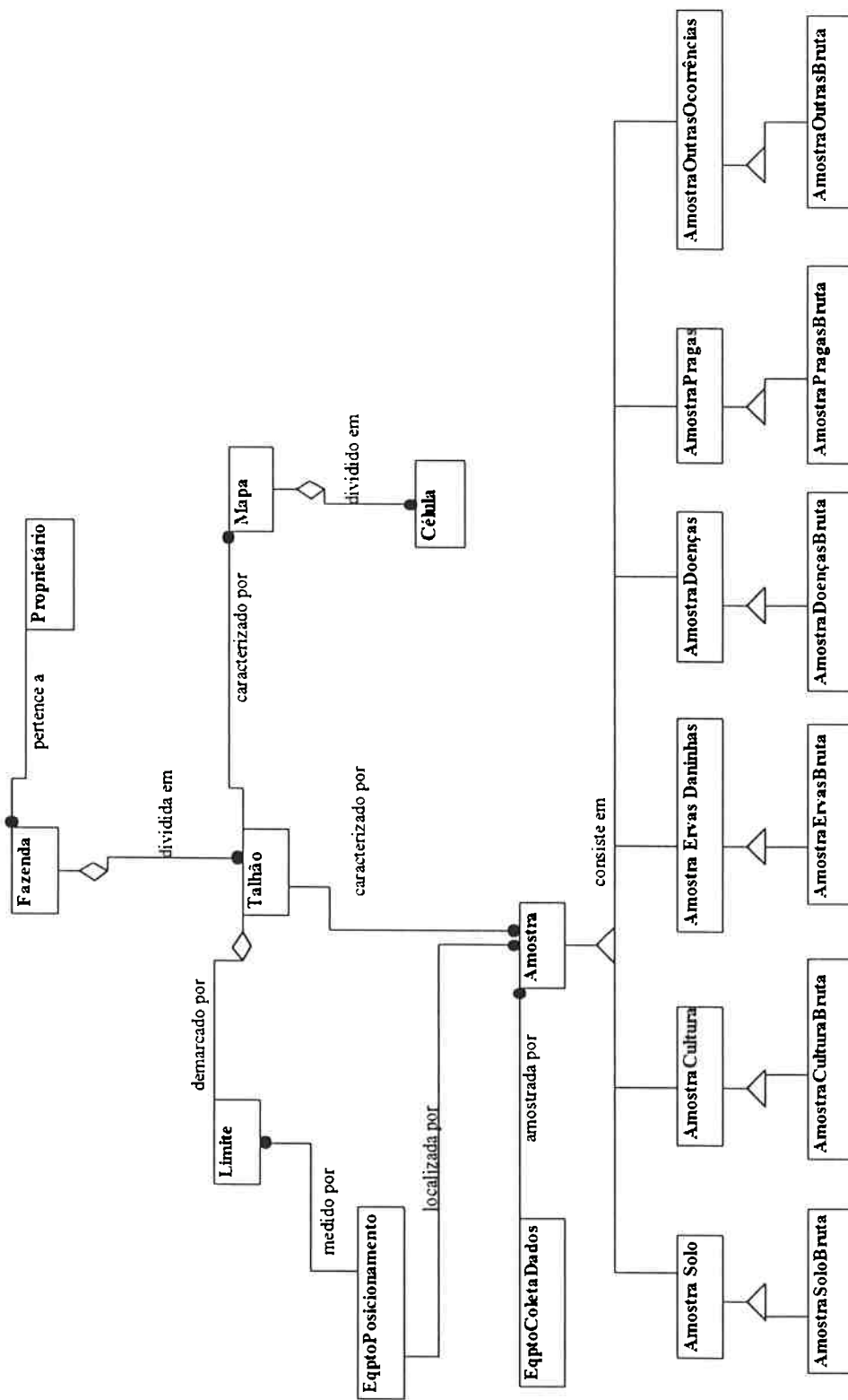


Figura 6.2 - Diagrama de Classes para o caso de uso Inserir dados de campo

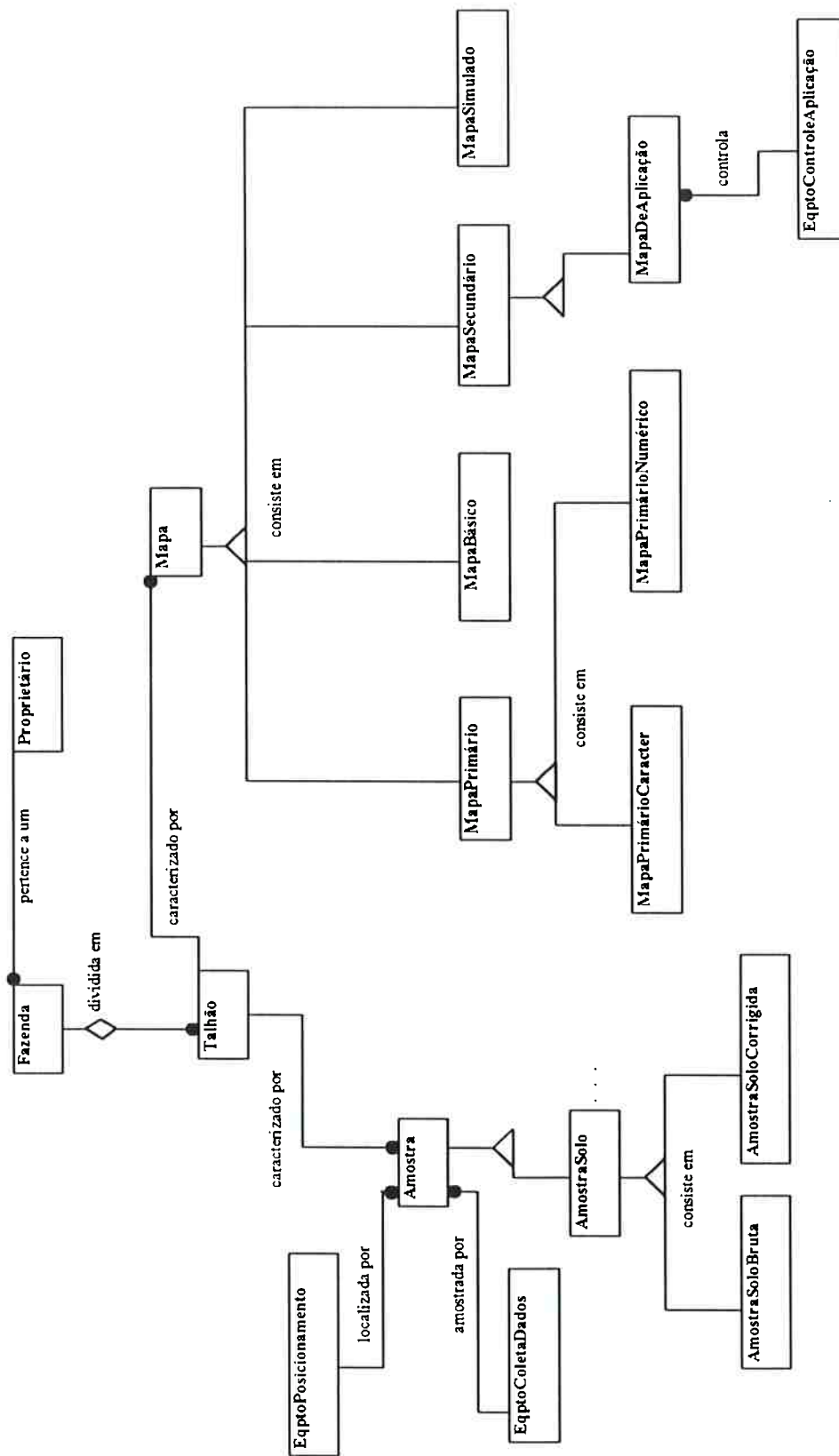


Figura 6.3- Diagrama de Classes para o caso de uso Gerar mapas

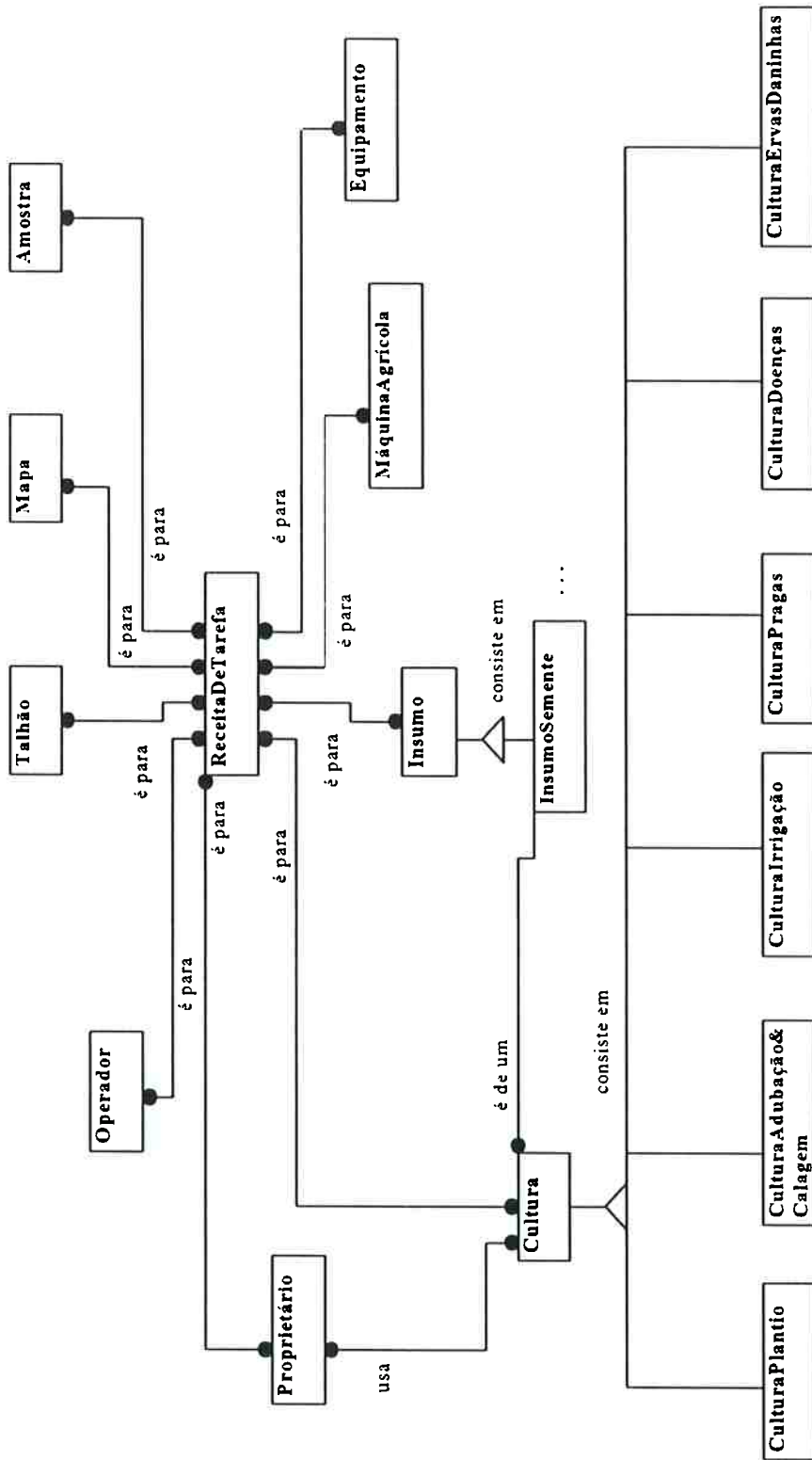


Figura 6.4 - Diagrama de Classes para o caso de uso Configurar o sistema (parte a)

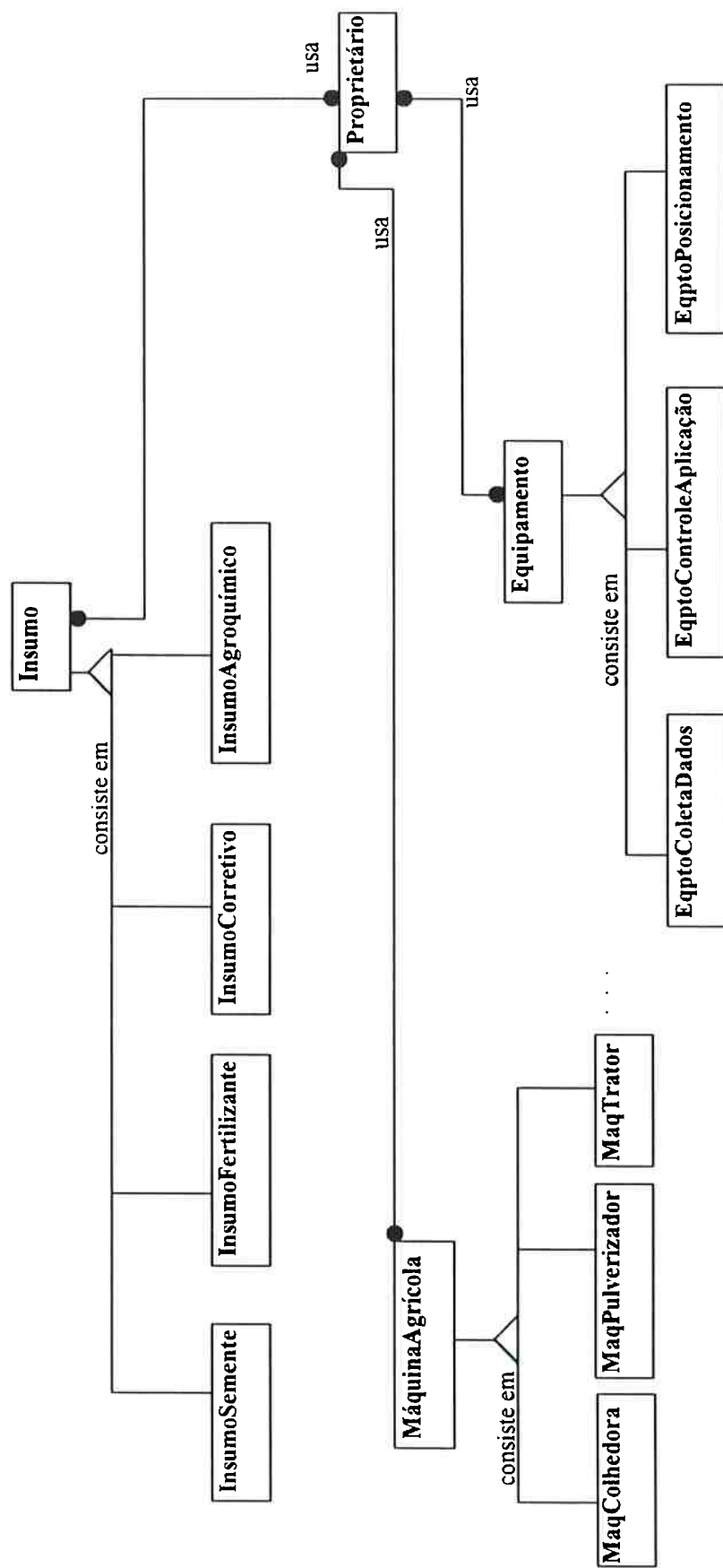


Figura 6.5 - Diagrama de Classes para o caso de uso Configurar o sistema (parte b)

6.3.1.2 *Descrição das classes*

As classes de objetos identificadas com base na análise dos casos de uso e no conhecimento adquirido do domínio são adicionalmente detalhadas nesta descrição. O objetivo é evidenciar de que tratam essas classes de objetos no contexto do MOSAICo, permitindo a compreensão do modelo sem, todavia, entrar em detalhe excessivo. Um detalhamento maior é apresentado no Anexo - Descrição de Atributos e Operações de Classes, no qual são listadas algumas dessas características já identificadas para as classes.

Classe: Amostra

Esta classe representa todas as informações a respeito das características de campo de cada talhão, coletadas pelos diversos meios e técnicas de amostragem, manual ou automática. Consiste em diversas outras subclasses com características específicas conforme a variável amostrada, por exemplo, o solo, a cultura, as pragas, as ervas daninhas, as doenças, e outras ocorrências.

Classe: AmostraCultura

Contém dados amostrados relativos aos parâmetros da cultura em campo, como colheita, análise de nutrientes nos tecidos vegetais, entre outros. Consiste em subclasses de dados relativas aos parâmetros citados.

Classe: AmostraCulturaColheita

Refere-se especificamente aos dados amostrados em campo a respeito da colheita, como a produtividade, o teor de umidade na colheita, as perdas na colheita. Consiste em subclasses de amostras brutas e amostras corrigidas.

Classe: AmostraCulturaColheitaBruta

Contém os dados brutos registrados usualmente por coletores de dados ou monitores de colheita.

Classe: AmostraCulturaColheitaCorrigida

Contém os dados de colheita corrigidos em relação a atrasos (*lag time*) e posicionamento (DGPS), obtidos a partir das amostras brutas.

Classe: AmostraDoenças

Refere-se aos dados da presença de doenças na cultura. Consiste em subclasses de amostras brutas e corrigidas.

Classe: AmostraDoençasBruta

Contém os dados brutos obtidos em campo a respeito da amostragem da infestação da cultura por doenças.

Classe: AmostraDoençasCorrigida

Contém os dados de infestação da cultura por doenças, corrigidos em relação aos métodos e equipamentos de coleta, como receptores GPS e coletores de dados. Obtida a partir dos dados brutos.

Classe: AmostraErvasDaninhas

Refere-se aos dados da presença de ervas daninhas na cultura. Consiste em subclasses de amostras brutas e corrigidas.

Classe: AmostraErvasDaninhasBruta

Contém os dados brutos obtidos em campo a respeito da amostragem da infestação da cultura por ervas daninhas.

Classe: AmostraErvasDaninhasCorrigida

Contém os dados de infestação da cultura por ervas daninhas, corrigidos em relação aos métodos e equipamentos de coleta, como receptores GPS e coletores de dados. Obtida a partir dos dados brutos.

Classe: AmostraOutrasOcorrências

Refere-se aos dados da ocorrência de outros eventos de importância na cultura, como observação de acamamento devido ao vento, invasão do campo por animais, ataques de pássaros, encharcamento do solo. Consiste em subclasses de amostras brutas e corrigidas.

Classe: AmostrOutrasBruta

Contém os dados brutos obtidos em campo a da ocorrência de outros eventos.

Classe: AmostraOutrasCorrigida

Contém os dados da ocorrência de outros eventos, corrigidos em relação aos métodos e equipamentos de coleta, como receptores GPS e coletores de dados. Obtida a partir dos dados brutos.

Classe: AmostraPragas

Refere-se aos dados da presença de pragas na cultura. Consiste em subclasses de amostras brutas e corrigidas.

Classe: AmostraPragasBruta

Contém os dados brutos obtidos em campo a respeito da amostragem da infestação da cultura por pragas.

Classe: AmostraPragasCorrigida

Contém os dados de infestação da cultura por pragas, corrigidos em relação aos métodos e equipamentos de coleta, como receptores GPS e coletores de dados. Obtida a partir dos dados brutos.

Classe: AmostraSolo

Refere-se aos dados dos parâmetros do solo como fertilidade, erosão, classificação pedológica, declividade, entre outros. Consiste em subclasses de amostras brutas e corrigidas.

Classe: AmostraSoloBruta

Contém os dados brutos obtidos em campo das características de solo.

Classe: AmostraSoloCorrigida

Contém os dados já corrigidos em relação aos métodos e equipamentos de amostragem e/ou análise, como os receptores GPS e coletores de dados.

Classe: Célula

Os mapas podem ser divididos em grades de células para fins de processamento ou manejo. Essa classe contém as informações sobre a divisão de cada mapa associado a um talhão em uma grade de células, para fins de manipulação de dados.

Classe: Cultura

Esta classe contém as informações sobre as regras e/ou práticas agronômicas de manejo disponíveis para cada cultura, e eventualmente para cada variedade da cultura. Cada produtor poderá ter seu conjunto próprio de regras que ele adota, sejam elas originárias de órgãos de pesquisa, sejam elas decorrentes da experiência própria do produtor em questão. Consiste em subclasses que especificam esse corpo de conhecimento para cada atividade do manejo da cultura, como o plantio, a adubação, o controle de doenças, o controle de pragas, etc.

Classe: CulturaAdubação&Calagem

Esta classe contém as regras, recomendações e práticas de adubação e calagem para a cultura em questão.

Classe: CulturaErvasDaninhas

Esta classe contém as regras, recomendações e práticas de controle de ervas daninhas para a cultura em questão.

Classe: CulturaDoenças

Esta classe contém as regras, recomendações e práticas de controle de doenças para a cultura em questão.

Classe: CulturaIrrigação

Esta classe contém as regras, recomendações e práticas de irrigação para a cultura em questão.

Classe: CulturaPlantio

Esta classe contém as regras, recomendações e práticas de plantio para a cultura em questão.

Classe: CulturaPragas

Esta classe contém as regras, recomendações e práticas de controle de pragas para a cultura em questão.

Classe: Equipamento

Esta classe contém as informações sobre os equipamentos eletrônicos comerciais utilizados na agricultura de precisão pelos diversos proprietários cadastrados no sistema. Consiste em equipamentos de coleta de dados, equipamentos para controle da aplicação de insumos e equipamentos para determinação da posição em campo. Cada equipamento tem suas características particulares que influenciam na forma de corrigir os dados coletados, de especificar um mapa de controle de aplicação, ou ainda de corrigir as posições anotadas em campo. Outras características relacionam-se com a forma de conexão do equipamento para a transferência dos dados de/para o sistema, e com os formatos desses dados.

Classe: EqptoColetaDados

Os equipamentos de coleta de dados em campo, por exemplo os monitores de colheita, e suas características técnicas relevantes para o sistema e para o processamento dos dados coletados constituem esta classe.

Classe: EqptoControleAplicação

Constituem esta classe os equipamentos controladores de aplicação de insumos em campo, por exemplo os controladores de pulverização em taxa variável, e suas características técnicas relevantes para o sistema, mormente para a geração dos arquivos de controle de aplicação.

Classe: EqptoPosicionamento

Constituem esta classe as informações sobre os equipamentos de posicionamento em campo, por exemplo os receptores GPS, e suas características técnicas de interesse para o processamento dos dados por eles coletados, como a correção dos erros de coleta.

Classe: Fazenda

A fazenda representa a classe de objetos que contém as informações sobre as propriedades agrícolas cadastradas no sistema.

Classe: Insumo

Esta classe contém as informações sobre produtos comerciais disponíveis para serem utilizados na produção. Consiste de subclasses identificadas pelo tipo do insumo.

Classe: InsumoAgroquímico

Esta subclasse contém as informações técnicas e comerciais sobre defensivos agrícolas disponíveis no mercado.

Classe: InsumoCorretivo

Esta subclasse contém as informações técnicas e comerciais sobre corretivos de solo disponíveis no mercado.

Classe: InsumoFertilizante

Esta subclasse contém as informações técnicas e comerciais sobre fertilizantes disponíveis no mercado.

Classe: InsumoSemente

Esta subclasse contém as informações técnicas e comerciais sobre sementes disponíveis no mercado.

Classe: Limite

Esta classe contém as informações sobre os pontos que delimitam cada talhão, de modo a permitir traçar-se o seu mapa.

Classe: Mapa

Esta classe contém os mapas obtidos a partir das amostras de campo e suas respectivas localizações. Consiste em diversas subclasses, conforme o tipo de manipulação que essas informações espaciais das amostras sofreram.

Classe: MapaDeAplicação

Mapa com a recomendação das quantidades a aplicar de um determinado insumo ao longo do talhão, independente do equipamento que o fará.

Classe: MapaBásico

Mapa obtido de mapa primário de variável de tipo numérico, sobre o qual foi realizado processamento visando homogeneizar a densidade de pontos disponível, por exemplo através de método geoestatístico, processamento de imagem, ou outros.

Classe: MapaPrimário

Mapa obtido diretamente a partir de amostras corrigidas.

Classe: MapaPrimárioCaracter

Mapa primário cuja variável é do tipo caracter.

Classe: MapaPrimárioNumérico

Mapa primário cuja variável é do tipo numérico.

Classe: MapaSecundário

Mapa obtido a partir de outros mapas através de operações, funções ou métodos de processamento diversos, e que resulta em variáveis que não têm uma relação direta com o meio físico, mas representam abstrações úteis para fim de análise.

Classe: MapaSimulado

Mapa obtido após simulação de modelo.

Classe: MáquinaAgrícola

Classe que representa as informações sobre as máquinas agrícolas de mercado disponíveis para os proprietários dos talhões e fazendas cadastrados, e que são de interesse para o processamento dos dados coletados e/ou a definição das recomendações de aplicação de insumos. Consiste em subclasses com os diversos tipos de máquinas, que são utilizadas nas operações agrícolas para as quais o sistema oferece suporte.

Classe: MaqAdubador

As máquinas adubadoras para agricultura de precisão e suas características técnicas relevantes.

Classe: MaqColhedora

As máquinas colhedoras e suas características técnicas relevantes.

Classe: MaqPulverizador

As máquinas pulverizadoras para agricultura de precisão e suas características técnicas relevantes.

Classe: MaqTrator

Os tratores agrícolas e suas características técnicas relevantes.

Classe: Operador

Identifica o usuário do sistema de informação.

Classe: Proprietário

Classe com as informações dos proprietários das fazendas cadastradas no sistema.

Classe: ReceitaDeTarefa

Contém os procedimentos que o operador deve seguir para realizar determinada tarefa, de acordo com uma estratégia predefinida.

Classe: Talhão

Identifica as unidades de manejo em que está dividida a fazenda.

6.3.1.3 Modelo de Subsistemas

O significativo número de classes identificadas no Modelo de Objetos, distribuídas pelos diversos diagramas, dificulta a sua disposição num único diagrama, pois este perderia em legibilidade. Entretanto, é interessante ter-se uma visão do conjunto do modelo.

Por outro lado, essas classes podem ser associadas tendo em mente as funções envolvidas na composição do MOSAICo, as quais potencialmente poderão vir a ser implementadas por subsistemas mais específicos, que serão integrados para compor o sistema final.

Tendo em mente esses dois aspectos, um novo conjunto de diagramas, o Modelo de Subsistemas, apresenta uma proposta de divisão das classes de objetos em subsistemas que as agrupam segundo funções no domínio da solução. Os subsistemas que foram identificados são: Subsistema de Informações Geográficas, Subsistema de Base de Dados Agrícola, Subsistema de Dados de Campo, Subsistema Especialista, Subsistema de Modelos de Simulação e Subsistema Assistente de Tarefas. Um diagrama adicional, o Diagrama de Visão Abstrata dos Subsistemas, apresenta uma visão global do MOSAICo em termos desses possíveis subsistemas e de suas interligações.

A Figura 6.6 apresenta o Diagrama de Visão Abstrata dos Subsistemas. As Figuras 6.7 a 6.12 apresentam os diagramas dos diversos subsistemas citados.

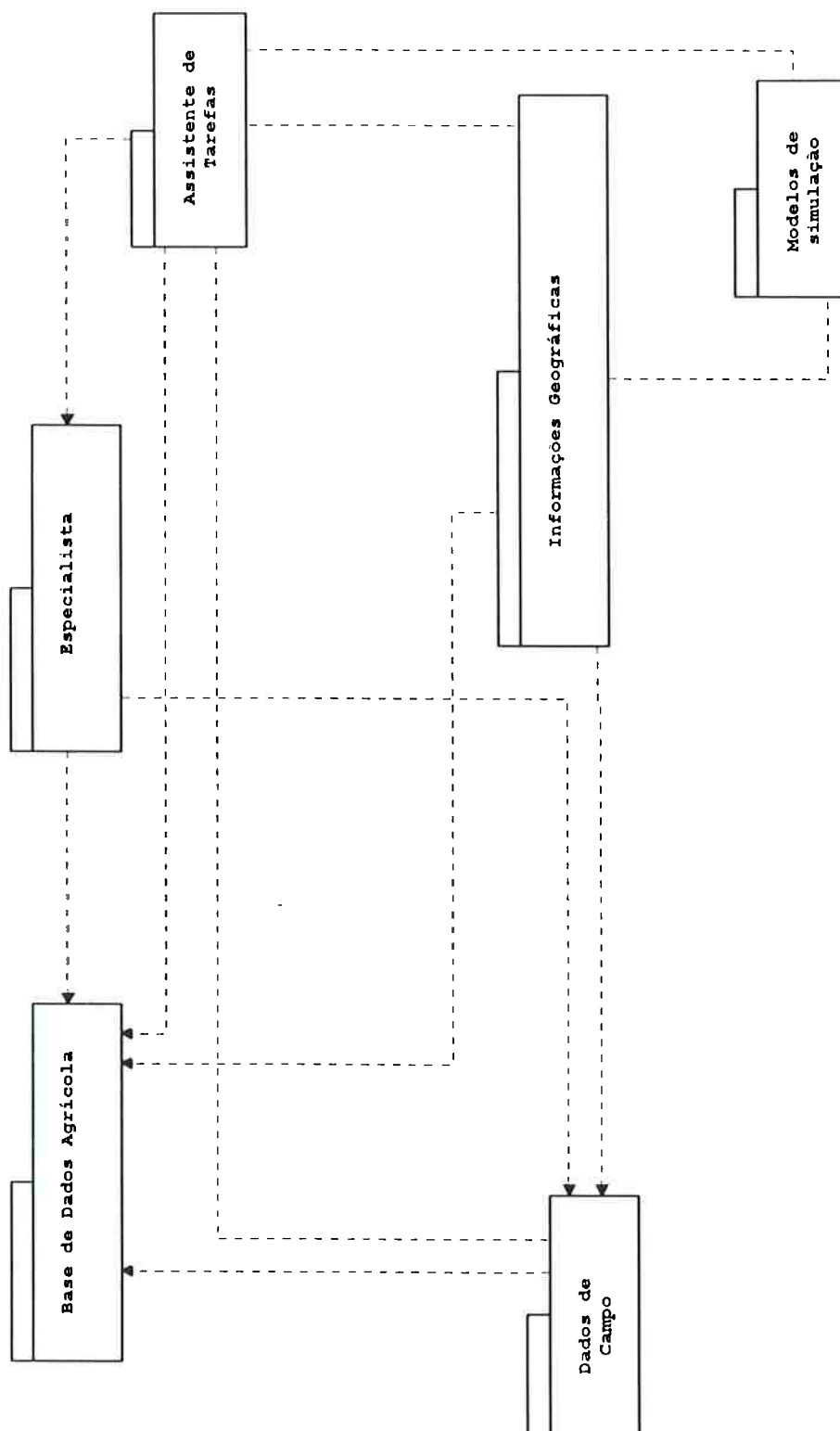


Figura 6.6 - Visão abstrata dos subsistemas e suas interligações

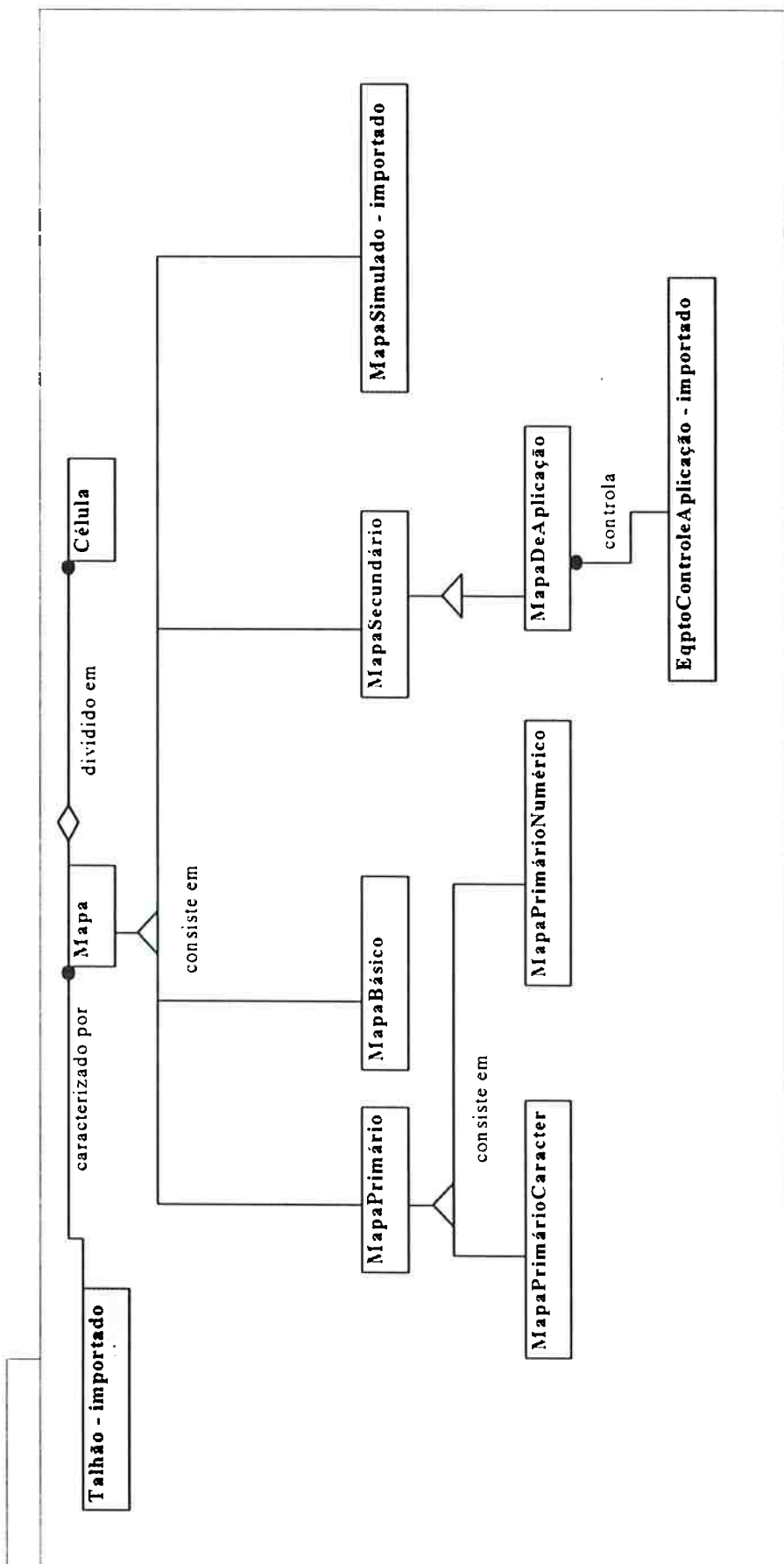


Figura 6.7 - Visão detalhada do Subsistema de Informações Geográficas

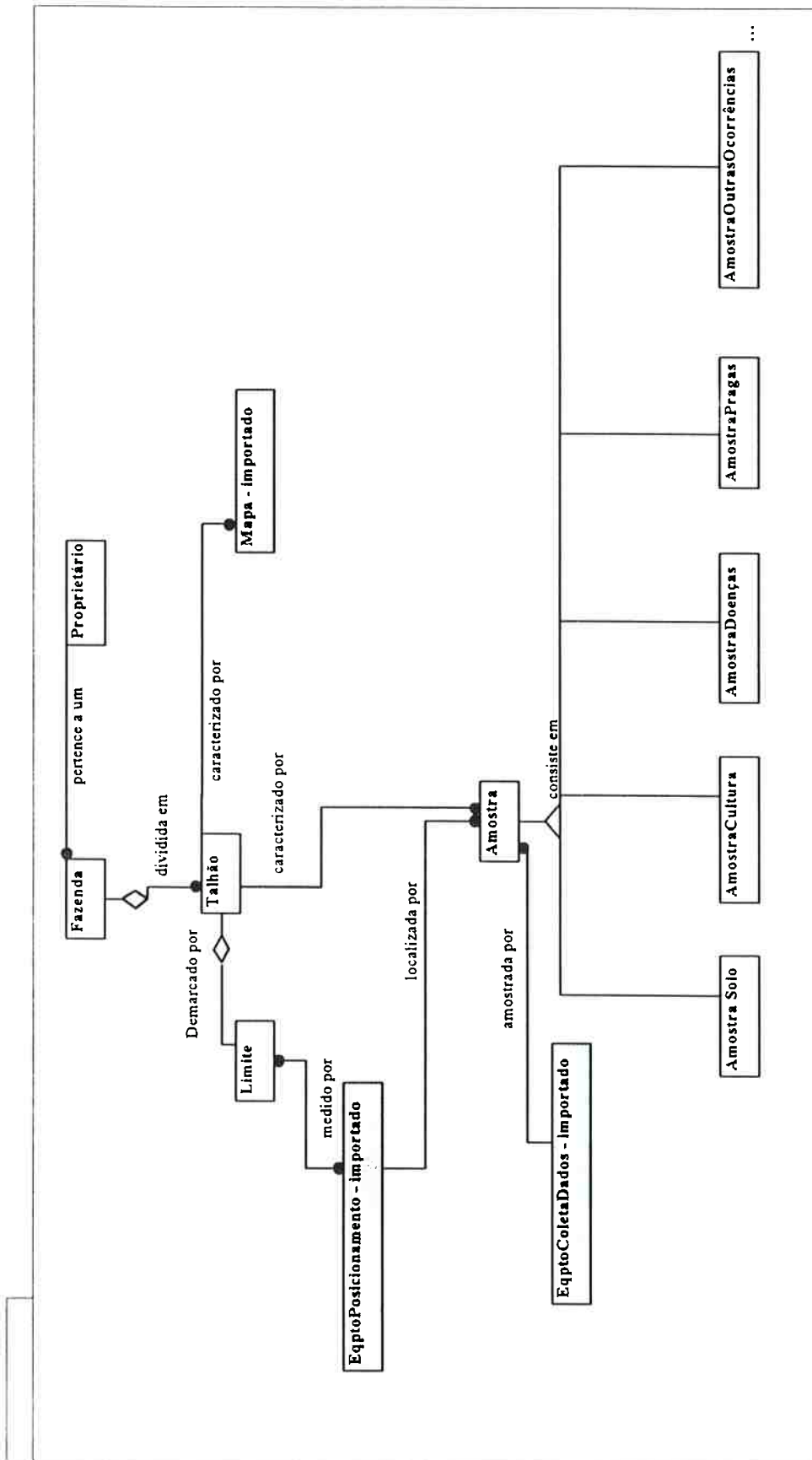


Figura 6.8 - Visão detalhada do Subsistema de Dados de Campo

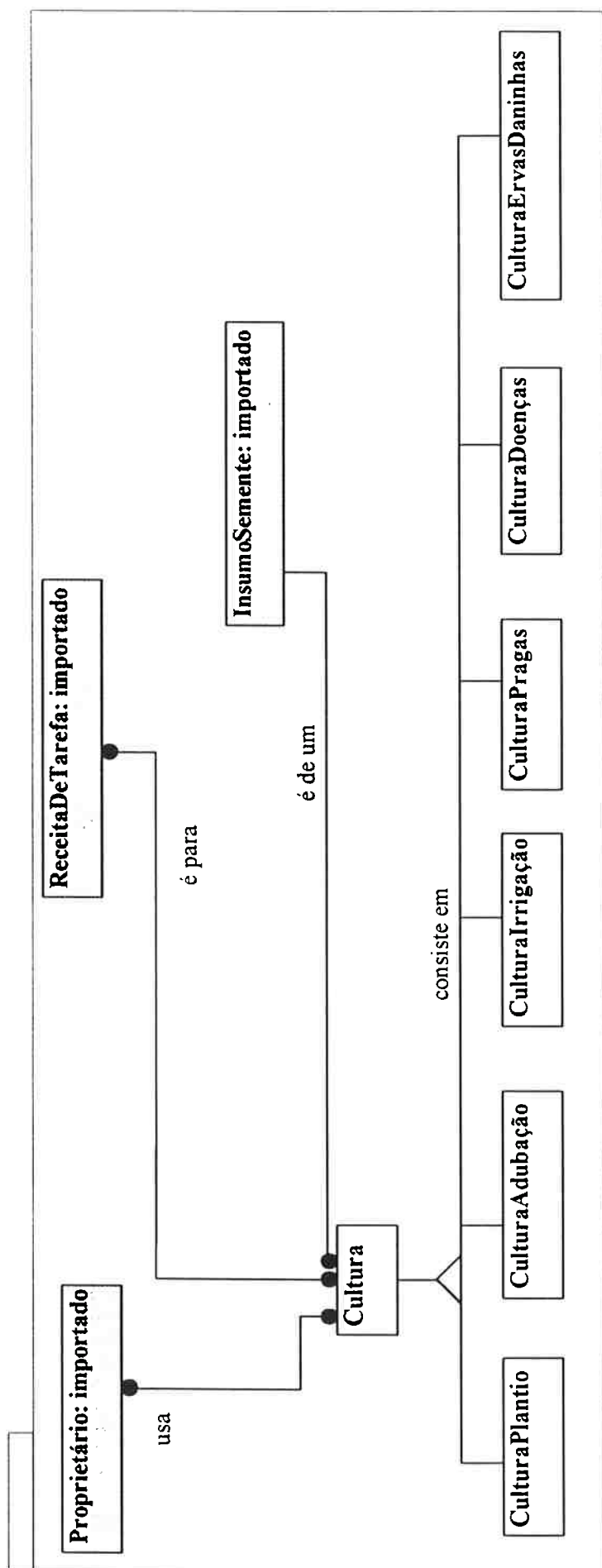


Figura 6.9 - Visão detalhada do Subsistema Especialista

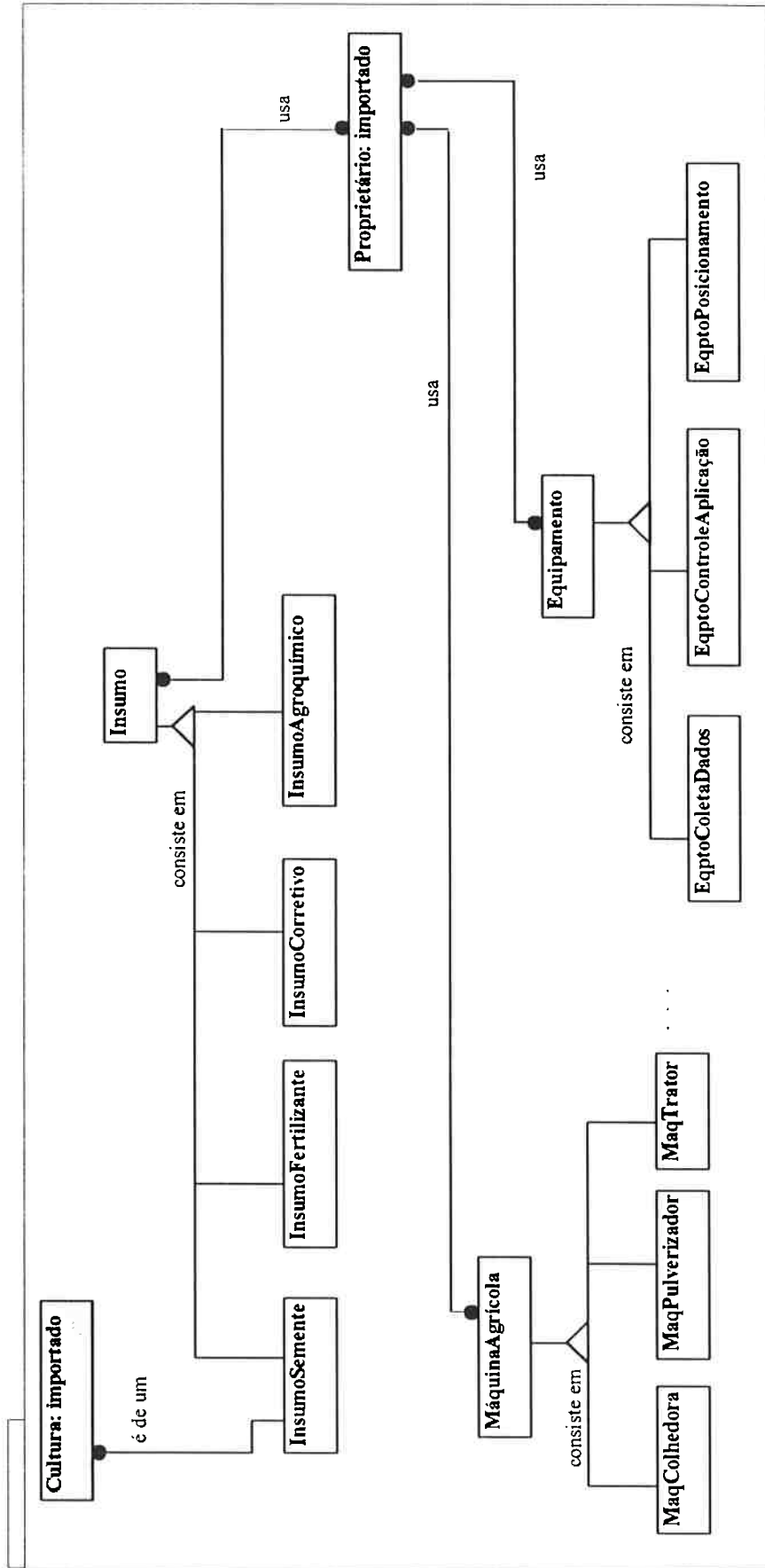


Figura 6.10- Visão detalhada do Subsistema de Base de Dados Agrícola

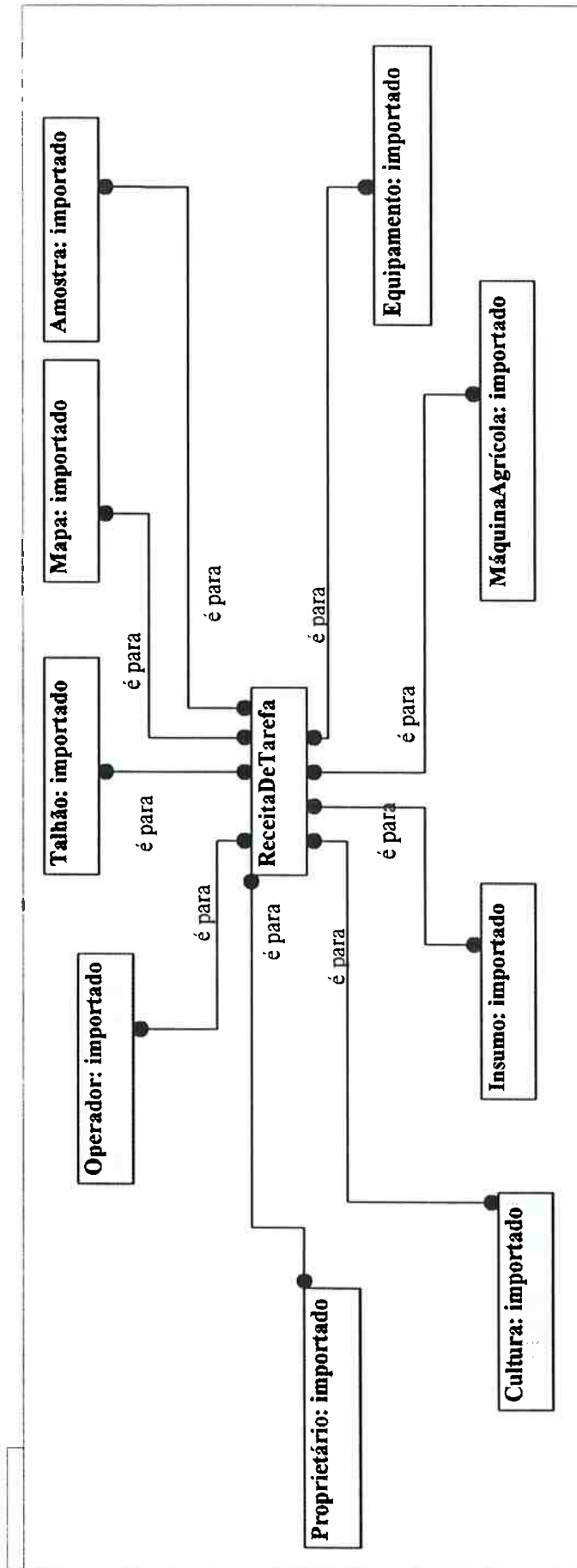


Figura 6.11 - Visão detalhada do Subsistema Assistente de Tarefas

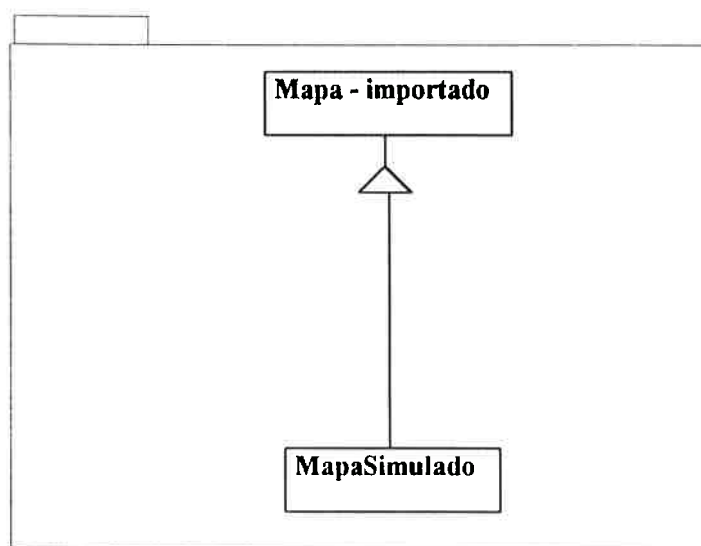


Figura 6.12- Visão detalhada do Subsistema de Modelos de Simulação

6.3.1.4 Descrição dos subsistemas

Os subsistemas identificados podem ser brevemente descritos com base no tipo de informação que encerram:

- Subsistema de Informações Geográficas - compreende a manipulação das classes relacionadas a informações georreferenciadas, isto é, os mapas de diversos tipos.
- Subsistema de Modelos de Simulação - compreende classes de objetos relacionados a simulações visando obter mapas simulados.
- Subsistema de Dados de Campo - compreende a manipulação das informações de campo escalares, e também das georreferenciadas não transformadas em mapas como, por exemplo, dados amostrados por coletores de dados com receptor GPS.

- Subsistema de Base de Dados Agrícola - compreende a manipulação das classes de objetos relacionados com informações sobre insumos, máquinas e equipamentos de AP.
- Subsistema Especialista - compreende a manipulação das classes relacionadas com conhecimento agrônômico, como as regras de manejo para as diversas operações de aplicação de insumos.
- Subsistema Assistente de Tarefas - compreende as classes relacionadas com informações sobre receitas para a realização de determinadas tarefas no sistema, bem como sobre automação dessas receitas.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

7. CONCLUSÕES

7.1 Discussão dos resultados

O método definido para o modelamento do MOSAICo compreende as fases de Pré-análise e de Análise, que correspondem à fase de Análise em métodos de desenvolvimento de sistemas.

Isto se prende ao escopo proposto para o MOSAICo, qual seja o de um modelo de meta-sistema. Tendo isso em mente, e em vista da complexidade e diversidade do domínio do problema, optou-se por dar especial ênfase à fase da Pré-análise, uma vez que seria de fundamental importância abranger os diversos aspectos desse diversificado domínio.

Os métodos de desenvolvimento de sistemas orientados a objetos que serviram como base, os métodos OMT e OOSE, tomam como ponto de partida para o modelamento por objetos algum documento informal de especificação de requisitos (cada qual adotando uma denominação diferente para esse documento). No caso do MOSAICo, para a geração desse documento foi previamente realizada uma extensa etapa de estudo do domínio, calcada em alguns conceitos da Análise de Domínios.

As atividades iniciais de Estudo do Domínio, documentadas nos capítulos 2 e 3, proporcionaram essa visão abrangente necessária, e revelaram as diversas facetas, os problemas e as tendências atuais da tecnologia da agricultura de precisão em geral, e dos SI requeridos para gerenciamento, em particular.

Com base nesse estudo, foi então proposto um Enunciado do Problema, texto que identifica um elevado número de atividades e funções requeridas para o gerenciamento das informações na AP. Ele constitui-se numa primeira especificação de requisitos bastante informal e incompleta, mas que contribui para o entendimento do problema do gerenciamento e dos SI de apoio, possibilitando uma visão global do processamento das informações para a tomada de decisão. Não são abordados, neste nível, detalhes das informações e de seu processamento.

A partir desse Enunciado, o método de desenvolvimento do modelo foi orientado a casos de uso. Essa abordagem facilitou a sua elaboração em meio à complexidade do domínio, e em meio à multiplicidade de operações necessárias e seus variados métodos, pois permitiu particionar o problema em funcionalidades de alto nível, as quais guardavam relativa independência entre si. Foi, então, construído um Modelo de Requisitos, constituído de um Modelo de Casos de Uso e de uma Descrição dos Casos de Uso.

O Modelo de Casos de Uso obtido, embora simples, permitiu delimitar o sistema em seu ambiente, e visualizar a funcionalidade básica dele requerida. A simplicidade é decorrente de uma série de iterações e de agrupamento de vários sub-casos identificados, e é uma virtude do modelo. Completando o Modelo de Requisitos e encerrando a fase de Pré-análise, a Descrição dos Casos de Uso que se seguiu oferece um segundo nível de detalhamento dessa funcionalidade, e proporciona uma visão mais completa da complexidade do processamento necessário para dar suporte à tomada de decisão na AP.

Essa descrição em detalhe impôs um estudo bastante minucioso do problema e dos sistemas, revelando os pontos vagos no Enunciado do Problema. O grau de detalhamento das funções e das informações nessa Descrição foi inevitavelmente heterogêneo. Determinadas informações e procedimentos podem ser considerados como necessários e padronizados, e foram mais esmiuçados. Outros abarcam uma gama muito vasta de possibilidades alternativas e, embora fosse possível descer o nível de detalhe com base em casos específicos, isso não foi feito para o bem da legibilidade e da generalidade que o escopo exigia. Este é o caso, por exemplo, da utilização de modelos de simulação, cujas formas de operação e cujos parâmetros utilizados são de tal forma diferentes que polarizariam desnecessariamente a descrição.

Essa diferença no nível de detalhe não compromete o MOSAICO, pois o alvo do modelamento foram apenas as classes de informações, e estas puderam ser identificadas no nível de abstração trabalhado, na fase de Análise que se seguiu. O eventual detalhe a mais, em certos casos, contribuiu para um melhor entendimento do significado real das classes de objetos, de seus atributos e operações. Como resultado, foi possível identificar diversos atributos e operações para as classes, os quais foram listados no Anexo. Essa lista poderia ser bastante mais extensa, mas esse detalhamento escapa ao objetivo deste

trabalho. Os dicionários de dados, cuja padronização está em curso sob os auspícios de organizações como a ISO e a A*E*A, são uma fonte de consulta adequada e necessária para esse tipo de informação.

Na continuidade, na fase de Análise, a identificação das classes de objetos e de seus relacionamento foi feita, também separada por casos de uso. Esse processo envolveu diversas iterações, visando o refinamento, a completeza e a consistência entre os diversos diagramas, e mostrou ser mais conveniente e prático do que uma abordagem do sistema integral.

No Modelo de Objetos resultante, um ponto bastante positivo é que as classes identificadas estão fortemente apoiadas no domínio do problema, e a sua estruturação reflete esse domínio, e não uma possível implementação particular. Essa característica propicia uma robustez ao modelo, uma boa chance dele vir a ser estável em relação a mudanças de requisitos, além de facilitar o seu entendimento pela relação direta existente com objetos do mundo real. Aspectos da interface de operação poderiam ser facilmente incluídos no modelo, tendo em vista o nível de detalhe a que se chegou em algumas das descrições, como a dos casos de uso. Todavia, a inclusão de classes de objetos do domínio computacional comprometeriam essa fundamentação no domínio do problema, que é a característica que garante a robustez do MOSAICo.

É interessante ressaltar que o domínio do problema dos sistemas de informações para AP extrapola o domínio (físico) da agricultura, e incorpora um aspecto de infraestrutura computacional inerente. Se a identificação das classes de objetos do domínio agrícola é facilitada pela contrapartida existente no mundo real, o mesmo não se pode dizer das classes relativas ao domínio do problema computacional. A separação entre o domínio do problema computacional e o domínio da solução computacional representou uma dificuldade a ser transposta no modelamento, para evitar a vinculação a aspectos de implementação. Uma dificuldade adicional enfrentada decorre da necessidade de mudança da forma de pensar e estruturar o problema, que a orientação a objetos requer e que não é trivial numa primeira abordagem.

Embora a fase de Análise do Método OMT, o qual serviu de base para o método adotado no desenvolvimento do MOSAICo, previsse a descrição de um Modelo

Dinâmico, no caso do MOSAICo o aspecto dinâmico mostrou-se irrelevante no nível de abstração trabalhado. Os objetos e classes identificados não possuem um comportamento dinâmico forte. Este seria o caso dos objetos de interface, que entretanto não tiveram seu detalhamento realizado neste nível para não comprometer o grau de abstração e flexibilidade do modelo. Tais objetos de interface deverão ser detalhados quando do desenvolvimento de sistemas específicos, derivados com base no MOSAICo.

Já com relação ao Modelo Funcional, este tornou-se desnecessário para descrever a funcionalidade de alto nível, que é o escopo principal do modelo, uma vez que essa descrição é detalhada através do recurso dos casos de uso, que mostrou ser muito poderoso, embora conceitualmente simples. Por outro lado, a descrição em detalhe das transformações complexas de dados, que é a outra atribuição do modelo funcional, não se justifica neste nível de abstração proposto para o modelo.

Na continuidade do modelamento era necessária uma visão global do modelo que permitisse a integração de todos os diagramas de classes do Modelo de Objetos detalhados por casos de uso, mas que fosse legível. Nesse ponto, a utilização do conceito de subsistemas mostrou-se bastante interessante como recurso para estruturar o MOSAICo.

A identificação dos subsistemas ao final do processo de modelamento por objetos permitiu confirmar a necessidade de alguns subsistemas básicos recorrentemente encontrados na literatura, como os GIS e as bases de dados de campo. Essa constatação não é senão uma decorrência dos tipos de dados e das manipulações realizadas sobre eles, mas foi atingida por outra via, por outro paradigma, o de objetos. Resultado mais importante, todavia, foi a identificação do papel e do relacionamento de outros subsistemas que não são encontrados nos sistemas para AP, como o subsistema baseado em conhecimento (subsistema especialista), o subsistema de base de dados agrícola (com informações sobre produtos e mercado), e um subsistema de apoio ao uso do próprio sistema, denominado subsistema assistente de tarefas. Estes subsistemas estão relacionados com funções que são freqüentemente apontadas como muito importantes no suporte à decisão e para a utilidade dos sistemas, mas não têm sido incorporadas aos sistemas, que em geral se limitam a alguma extensão e particularização das funcionalidades de um GIS.

A identificação dos subsistemas revelou ainda que muito da própria estruturação do problema em casos de uso já embutia uma utilização predominante de certos subsistemas em cada caso de uso. Esse resultado pode ser notado confrontado-se os diagramas de subsistemas com os diagramas de classes detalhados por caso de uso. Ficam evidentes, a partir desse cotejo, as vinculações entre um determinada funcionalidade (um caso de uso), as classes de objetos envolvidas, e os subsistemas necessários para a manipulação daquelas informações e o atendimento daquela funcionalidade.

Decorre dessa evidência que é oportuna a adoção de uma estratégia incremental, como o modelo de ciclo de vida em espiral, para a implementação dos sistemas para AP, e que isso é especialmente favorecido em se tomando por base o MOSAICO. Nessa estratégia, pode-se utilizar os casos de uso como base para a evolução dos sistemas, aos quais serão adicionadas novas funcionalidades a cada ciclo.

Essa possibilidade é ainda mais oportuna se levarmos em conta que essa é uma evolução ideal da própria prática da implantação da AP. Esta deve começar com uma etapa de aquisição de dados, deve incluir paulatinamente análises de variabilidade e de correlação, e finalmente incorporar a geração de mapas de aplicação e de arquivos de exportação de mapas de controle. As funcionalidades requeridas são nitidamente incrementais, portanto. Identificadas as necessidades funcionais específicas relacionadas a cada etapa dessa evolução, as classes de objetos envolvidas e os subsistemas necessários para sua manipulação, pode-se traçar uma estratégia para a evolução de um sistema de informação para a AP (ou uma classe de sistemas com funcionalidades gradualmente estendidas), em paralelo com a evolução da própria implantação da tecnologia no campo.

Isso pode ser feito a partir da estrutura do MOSAICO, a qual dará o suporte para que essa evolução ocorra com a possibilidade de reuso do software.

Confirma-se, assim, a aplicabilidade do modelo obtido, que, em função do seu escopo abstrato, independente de plataforma de implementação, pode prestar-se a diversas implementações específicas. Sua aplicabilidade aumentará na medida em que se desenvolvam e se consolidem as padronizações que facilitem a integração e a

interoperabilidade de pacotes de software. Isto porque o desenvolvimento de um sistema totalmente proprietário para a AP parece cada vez mais fora de questão, restando a alternativa de soluções de integração de pacotes ou componentes.

Embora atualmente já existam recursos suficientes para essa abordagem de integração, ao menos dentro de uma mesma plataforma, ainda são escassos os aplicativos que façam pleno uso do potencial desses recursos. Com a evolução de uma iniciativa importante como o Open GIS, e com a consolidação dos dicionários de dados e outras padronizações no domínio agrícola, se tornará ainda mais importante uma fundamentação conceitual mais abrangente, sólida e abstrata para orientar a integração de sistemas para atender a necessidades específicas. Esse é um dos papéis do MOSAICo.

Em havendo no mercado os componentes que atendam a um determinado padrão de interoperabilidade, o MOSAICo serve como paradigma para o detalhamento de sistemas de informações específicos.

Todavia, mesmo que tais padronizações sejam adotadas por um conjunto abrangente de pacotes de mercado, o modelo pode ser aplicado ao desenvolvimento de sistemas. Em tais casos será eventualmente necessário que pacotes de software que atendam a esses padrões cooperem com outros pacotes de software que não ofereçam o suporte à integração, por não atenderem a esses padrões. Em tais casos, será necessário desenvolver camadas de programas intermediárias, *middleware*, que normalizem as interfaces de sistemas não padronizados, trazendo-os indiretamente à conformidade.

Evidentemente, mesmo com a disseminação desses padrões, sempre restarão os sistemas legados, aqueles cuja migração para os novos padrões não se justifica, por exemplo em função dos custos envolvidos. Para estes, sempre será necessário o *middleware*.

Uma outra aplicação prática do modelo é a de possibilitar uma visão crítica dos sistemas que eventualmente sejam lançados no mercado, analisados à luz do potencial de funcionalidades explorado no modelo. Poderá, assim, auxiliar na seleção desses pacotes ou de subsistemas, seja para sua utilização em pesquisas, seja para sua utilização na produção agrícola.

7.2 Perspectivas futuras

A partir do MOSAICo, pretende-se iniciar a especificação e implementação de um sistema de informações que poderá ser utilizado nas pesquisas em AP desenvolvidas no âmbito do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Automação Agrícola da USP, que reúne a Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da USP, e a Escola Politécnica da USP, através do seu Laboratório de Automação Agrícola - LAA.

Como estratégia de desenvolvimento, pretende-se adotar um ciclo de caracter incremental como o modelo em espiral. A evolução do sistema acompanhará as necessidades das pesquisas em campo que o grupo realiza. Numa primeira etapa, por exemplo, devem ser contempladas funções de entrada de dados e análise de variabilidade, tendo em vista que as atividades de campo estarão concentradas, inicialmente no mapeamento da colheita e de outros parâmetros de campo, e na análise dos dados obtidos.

Com relação às ferramentas e plataformas de suporte a esse desenvolvimento, serão analisadas as opções disponíveis no mercado para a integração de componentes e subsistemas, procurando limitar o desenvolvimento às necessidades de adequação das interfaces entre os programas, e à criação de uma interface de operação única.

Alternativas reais já apuradas são o uso de bibliotecas de funções GIS e pacotes GIS modulares, escaláveis e extensíveis em ambiente MS Windows. Neste último caso, já existe, inclusive, a proposta de uma empresa representante de um poderoso pacote de GIS no sentido de uma parceria para o desenvolvimento de um protótipo desse sistemas, visando a geração de um produto que possa ser oferecido ao mercado agrícola, visando os potenciais usuários de AP.

Nos trabalhos a serem desenvolvidos, pretende-se dar uma grande ênfase para a participação de alunos de pós-graduação e de graduação. O objetivo é envolvê-los em projetos de pesquisa derivados dos temas que foram abordados neste trabalho, como sistemas abertos, integração de sistemas, engenharia de requisitos, análise de domínio, modelamento, em particular com uma ênfase nos sistemas de informações geográficas e suas aplicações na agricultura. Tendo em vista esses objetivos, pretende-se estreitar os laços com outros grupos de pesquisa na própria instituição, no país e no exterior. Pode-

se citar o Laboratório de Geoprocessamento da EP, o grupo de Geoprocessamento da Unicamp, a University of Missouri e a Texas A&M University, nos EUA, e a Cranfield University, na Inglaterra. Com essas instituições já têm sido mantidos contatos ao longo da realização deste trabalho, e há interesse comum na realização de um trabalho conjunto, inclusive no nível de um pós-doutorado no exterior.

Uma atividade futura de importância é a participação e acompanhamento das iniciativas de padronização citadas, particularmente aquelas ligadas ao domínio agrícola, na qualidade de membro da A*E*A, mas também do Open GIS e de outros níveis da tecnologia da informação.

Com base nesse acompanhamento, na experiência prática obtida no desenvolvimento de sistemas a partir do MOSAICo, na prática da AP em campo, num maior contato com usuários e na própria evolução do domínio da AP, pretende-se aprimorar o modelo, inserindo nele o conhecimento adquirido.

7.3 Contribuições

A contribuição central deste trabalho é a proposição de um Modelo de Objetos para Sistemas Abertos de Informações de Campo - MOSAICo, para agricultura de precisão. O modelo inova por prover uma infra-estrutura para a especificação e o desenvolvimento de sistemas para AP, situando-se, portanto, no nível de um meta-sistema.

Dentro do domínio, o modelo inova por basear essa infra-estrutura na orientação a objetos e num extenso estudo do domínio, o que lhe confere uma base potencialmente robusta em face das mudanças de requisitos, que são bastante prováveis atualmente na AP.

O modelo contribui com a identificação de macro-funcionalidades, os casos de uso, que podem guiar o desenvolvimento de sistemas de modo incremental com base na infra-estrutura proposta.

O modelo contribui ainda para a identificação da necessidade de subsistemas adicionais aos usualmente encontrados em sistemas pesquisados, e para a clarificação dos seus papéis nos SI para AP.

O modelo proporciona uma visão bastante abrangente das necessidades e das atividades envolvidas no gerenciamento da informação na AP, contribuindo para a análise de sistemas proprietários e para a avaliação de sua adequação ao domínio.

Embora haja propostas de padronização afins, como a dos dicionários de dados, e a de interfaces de objetos agrícolas, com vistas à cooperação entre pacotes de software, elas não se apóiam numa estrutura conceitual publicada do domínio do problema, mas abordam diretamente aspectos mais detalhados e menos abstratos. O modelo proposto permite situar essas iniciativas e seus produtos num escopo mais amplo, e contribui para a sua utilização e para seu desenvolvimento.

O método utilizado contribui por ser uma abordagem prática para a realização da Análise de Domínio, adicionando uma etapa de Pré-análise a métodos tradicionais de desenvolvimento de sistemas orientados a objetos, e alterando o nível do modelamento para o de meta-sistemas. Nessa etapa de Pré-análise, o conceito de casos de uso desempenhou papel fundamental, após um detalhado estudo do domínio.

ANEXO

DESCRIÇÃO DE ATRIBUTOS E OPERAÇÕES DE CLASSES

ANEXO - DESCRIÇÃO DE ATRIBUTOS E OPERAÇÕES DE CLASSES

As classes apresentadas no modelo encerram uma série de atributos, e de operações sobre estes, os quais não foram detalhados no corpo do texto por uma questão de organização, visando a maior legibilidade.

A seguir apresenta-se uma descrição de um conjunto desses atributos e operações identificados para as classes do sistema. Este conjunto não tem a intenção de ser exaustivo, mas indicativo. Tem por objetivo mostrar os tipos de informações e suas transformações que foram identificados como necessários para o sistema, e evidenciar sua alocação às classes propostas no modelo, justificando a existência destas.

Nesta relação já se encontram alguns atributos propostos nos dicionários de dados em elaboração pela A*E*A, Agricultural Electronics Association (1997a e 1997b). Um maior detalhamento desta lista será alvo de futuras implementações do modelo, e se pautará também nas iniciativas de padronização em curso e futuras por parte da A*E*A, ISO, OGIS, entre outras.

A relação apresenta as classes em ordem alfabética, vindo as subclasses em seguida da super-classe, quando for o caso.

Classe: Amostra

Atributos:

Talhão - talhão ao qual está associada a amostra

Posição - contém os dados de posição do ponto amostrado

Responsável pela amostra - identifica a pessoa que obteve a amostra

Data/hora da amostra - data/hora da coleta da amostra.

Equipamento de coleta de dados - equipamento utilizado na coleta de dados da amostra, como monitor de colheita, por exemplo.

Equipamento de posicionamento - equipamento utilizado na aquisição dos dados de posição da amostra em campo.

Anotação - contém uma descrição sobre a coleta da amostra

Classe: AmostraCultura

Atributos:

Nome da Cultura - contém o nome da cultura amostrada

Variedade - contém a variedade da cultura amostrada

Classe: AmostraCulturaColheita

Atributos:

Massa da amostra - contém o valor da massa medida na amostra da colheita

Umidade da amostra - contém a umidade da amostra de colheita

Distância amostrada - distância para a qual aquela amostra é válida, intervalo desde a última amostra.

Largura colhida - largura efetiva da amostra, em oposição à largura nominal das colhedoras, por exemplo.

Classe: AmostraCulturaColheitaBruta

Operações:

CorrigirAmostraLag - corrige os erros de coleta de dados de colhedoras, devido ao *lag time*.

CorrigirAmostraPosiçãoGPS - corrige os erros de posicionamento oriundos do sistema GPS

Classe: AmostraCulturaColheitaCorrigida

Operações:

AtribuirCamada - possibilita associar a cada parâmetro amostrado uma camada de mapa.

Classe: AmostraDoenças

Atributos:

Nome da doença - nome popular da doença.

Nome científico - nome científico do patógeno

Grau de infestação - valor atribuído à intensidade da incidência da doença.

Método de medida - forma de avaliação em campo do grau de infestação.

Classe: AmostraDoençasBruta

Operações:

CorrigirAmostraPosiçãoGPS - corrige os erros de posicionamento oriundos do sistema GPS

Classe: AmostraDoençasCorrigida

Operações:

AtribuirCamada - possibilita associar a cada parâmetro amostrado uma camada de mapa.

Classe: AmostraErvasDaninhas

Atributos:

Nome das Ervas Presentes - nome popular

Nome científico - nome científico das invasoras

Grau de infestação - valor atribuído à intensidade da incidência da erva daninha.

Método de medida - forma de avaliação em campo do grau de infestação.

Classe: AmostraErvasDaninhasBruta

Operações:

CorrigirAmostraPosiçãoGPS - corrige os erros de posicionamento oriundos do sistema GPS

Classe: AmostraErvasDaninhasCorrigida

Operações:

AtribuirCamada - possibilita associar a cada parâmetro amostrado uma camada de mapa.

Classe: AmostraOutrasOcorrências

Atributos:

Nome da Ocorrência - por exemplo, acamamento da cultura, invasão do campo por animais, encharcamento do solo.

Grau da Ocorrência - valor atribuído à intensidade da ocorrência.

Método de medida - forma de avaliação em campo do grau de infestação.

Classe: AmostraOutrasOcorrênciasBruta

Operações:

CorrigirAmostraPosiçãoGPS - corrige os erros de posicionamento oriundos do sistema GPS

Classe: AmostraOutrasOcorrênciasCorrigida

Operações:

AtribuirCamada - possibilita associar a cada parâmetro amostrado uma camada de mapa.

Classe: AmostraPragas

Atributos:

Nome popular - nome popular da praga

Nome científico - nome científico da praga

Grau de infestação - valor atribuído à intensidade da incidência da praga.

Método de medida - forma de avaliação em campo do grau de infestação.

Classe: AmostraPragasBruta

Operações:

CorrigirAmostraPosiçãoGPS - corrige os erros de posicionamento oriundos do sistema GPS

Classe: AmostraPragasCorrigida

Operações:

AtribuirCamada - possibilita associar a cada parâmetro amostrado uma camada de mapa.

Classe: AmostraSolo

Atributos:

Profundidade inicial - profundidade inicial da amostra em relação à superfície do solo

Profundidade final - profundidade final da amostra em relação à superfície do solo

Textura%areia - porcentagem de areia na análise da textura

Textura%silte - porcentagem de silte na análise da textura

Textura%argila - porcentagem de argila na análise da textura

Densidade - densidade do solo

CTC - capacidade de troca catiônica (segundo vários métodos)

Saturação das bases - porcentagem da saturação de bases relativa a cada cátion

M.O. - teor de matéria orgânica, segundo diversos métodos

pH - determinação do pH do solo (segundo diversos métodos)

Teor de nutrientes - para os vários nutrientes, e segundo os diversos métodos de determinação

Laboratório responsável - laboratório que realizou as análises

Classe: AmostraSoloBruta

Operações:

CorrigirAmostraPosiçãoGPS - corrige os erros de posicionamento oriundos do sistema GPS

Classe: AmostraSoloCorrigida

Operações:

AtribuirCamada - possibilita associar a cada parâmetro amostrado uma camada de mapa.

Classe: Célula

Atributos:

Mapa - mapa ao qual se refere a célula

Dimensões - dimensões da célula

Orientação - orientação da grade de células em relação ao sistema de coordenadas

Classe: Cultura

Atributos:

Nome da Cultura - contém o nome da cultura amostrada

Variedade - contém a variedade da cultura amostrada

Classe: CulturaAdubação&Calagem

Atributos:

Tipo de Solo - tipo de solo a que se refere a prática de adubação e calagem

Local - região a que se refere a prática de adubação e calagem

Tipo de Manejo - indicador de uma estratégia de manejo que possa diferenciar outras práticas de adubação e calagem para a mesma cultura, como reposição de nutrientes extraídos, elevar níveis de nutrientes no solo, rotação de culturas, cultura irrigada, atingir uma produtividade esperada.

V - porcentagem de saturação em bases desejável.

pH - Valor do pH ótimo para a cultura

Quantidade de calcário - quantidade de calcário a aplicar em função da saturação em bases medida.

Observações calagem - Observações quanto à calagem, como suprir carência de Mg, época da aplicação do calcário, quantidade máxima, etc.

Quantidade N plantio - quantidade de Nitrogênio a ser aplicada no plantio

Quantidade P plantio - quantidade de Fósforo (P_2O_5) a ser aplicada no plantio, em função do nível de P no solo

Quantidade K plantio - quantidade de Potássio (K_2O) a ser aplicada no plantio, em função do nível de K no solo

Profundidade do Adubo - profundidade de aplicação do adubo

Quantidade N cobertura - quantidade de Nitrogênio a ser aplicada na cobertura

Quantidade P cobertura - quantidade de Fósforo (P_2O_5) a ser aplicada na cobertura, em função do nível de P no solo

Quantidade K cobertura - quantidade de Potássio (K_2O) a ser aplicada na cobertura, em função do nível de K no solo

Data da cobertura - intervalo de tempo até adubação de cobertura

Outras Informações - informações adicionais como parcelamento da adubação, adubação com micronutrientes, etc.

Classe: CulturaErvasDaninhas

Atributos:

Nome popular - nome popular da erva

Nome científico - nome científico da erva

Nível de infestação - uma indicação graduada da gravidade da presença da erva.

Tipo de Manejo - identifica o método de controle, se apenas químico, ou se integrado a outras práticas.

Nome Substância Química - substância química a ser utilizada no combate

Dosagem da substância - dosagem da substância

Forma de aplicação - Forma de aplicação da substância, por exemplo, pré-plantio incorporado (PPI), pré-emergência, pós-emergência

Susceptibilidade - susceptibilidade da erva à substância química, indo de alta a baixa.

Outras informações: incluem a forma de aplicação do produto, o intervalo entre cada aplicação, início e fim do tratamento.

Classe: CulturaDoenças

Atributos:

Nome da doença - nome popular da doença

Agente causador - nome científico/popular do agente causador

Nível de infestação - uma indicação graduada da gravidade da presença da doença.

Tipo de Manejo - identifica o método de controle, se apenas químico, ou se integrado a outras práticas.

Nome Substância Química - substância química a ser utilizada no combate

Dosagem da substância - dosagem da substância

Outras informações: incluem a forma de aplicação do produto, o intervalo entre cada aplicação, início e fim do tratamento.

Classe: CulturaIrrigação

Atributos:

Tipo de irrigação - o tipo de método de irrigação que será utilizado, por exemplo localizada, aspersão.

Características do solo - características físicas do solo importantes para o método especificado, como a velocidade de infiltração e seus valores.

Parâmetro da cultura - parâmetros da cultura para o cálculo da irrigação segundo o método especificado, como constantes para cálculo da evapo-transpiração.

Lâmina d'água - quantidade de água recomendada .

Intensidade de aplicação - taxa de aplicação

Turno de rega - intervalo entre aplicações de lâminas de água consecutivas.

Descrição do método - Inclui a descrição do método de cálculo da irrigação.

Classe: CulturaPlantio

Atributos:

Tipo de Solo - tipo de solo a que se refere a prática de plantio

Local - região a que se refere a prática de plantio

Tipo de Manejo - indicador de uma estratégia de manejo que possa diferenciar outras práticas de plantio para a mesma cultura, como rotação de culturas, cultura irrigada.

Data Limite Início - data limite recomendada para início de plantio

Data Limite Término - data limite recomendada para fim do plantio

Profundidade da Semente - profundidade de colocação da semente no solo.

Espaçamento das Linhas - espaçamento entre as linhas de plantio.

Taxa de Sementes - número de sementes por metro linear, na linha.

Classe: CulturaPragas

Atributos:

Nome da praga - nome popular da praga

Agente causador - nome científico do agente causador

Nível de infestação - uma indicação graduada da gravidade da presença da praga.

Tipo de Manejo - identifica o método de controle, se apenas químico, ou se integrado a outras práticas.

Nome Substância Química - substância química a ser utilizada no combate

Dosagem da substância - dosagem da substância

Outras informações: incluem a forma de aplicação do produto, o intervalo entre cada aplicação, início e fim do tratamento.

Classe: Equipamento

Atributos:

Equipamento Marca - marca do equipamento

Equipamento Modelo - modelo do equipamento

Versão - identificador da versão do equipamento

Número de série - número de série do equipamento

Preço - preço de aquisição do equipamento

Proprietário - nome do proprietário

Classe: EqptoColetaDados

Atributos:

Dados do equipamento - formato livre contendo parâmetros de calibração, método de medida de velocidade, ou outros dados.

Operações:

ler dados do equipamento - conecta-se logicamente ao equipamento para transferência de dados do equipamento

Classe: EqptoControleAplicação

Atributos:

Forma de carga do programa de controle - especifica informações como interface serial, cartão PCMCIA, por exemplo.

Parâmetros de controle - especifica parâmetros de programação do controle da aplicação, como faixa de variação das entradas e saídas, número de saídas independentes de controle.

Operações:

carregar programa de controle - conecta-se logicamente ao equipamento para transferência do programa de controle para ele.

Classe: EqptoPosicionamento

Atributos:

Tipo de sistema - GPS, ou outros.

Método de medida - método utilizado para medição: código, fase (no caso de GPS)

Aplicação - a aplicação a que se destina o equipamento, como geodésia, navegação de precisão.

Acurácia nominal

Número de canais de recepção

Frequência de atualização dos dados

Protocolo de comunicação - NMEA ou proprietário (Trimble, por exemplo)

Porta serial - Configuração da porta serial

Autonomia - capacidade de armazenamento de dados.

Operações:

ler dados do equipamento - conecta-se logicamente ao equipamento para transferência de dados do equipamento

Classe: Fazenda

Atributos:

Nome - nome da fazenda

Local - endereço da fazenda

Proprietário - nome do proprietário da fazenda

Classe: Insumo

Atributos:

Nome do insumo - nome comercial do insumo

Marca - fabricante do insumo

Preço - preço de aquisição do insumo

Unidade de medida de venda- forma como é vendido o produto, litros, sacas, kg.

Quantidade de venda - quantidade unitária de venda, por exemplo, 60 (kg), 5 (litros).

Classe: InsumoAgroquímico

Atributos:

Classe - indica a aplicação geral do produto; por exemplo acaricida, aficida, antibrotante, bactericida, cupinicida, herbicida, entre outros.

Substâncias químicas ativas: indica qual a substância no produto que tem a ação especificada na classe, por exemplo, Diuron, Trifluralin, etc.

Indicações - contendo cultura, alvo (inseto, erva-daninha, doença, etc), dose de aplicação, forma de uso.

Monografia - conjunto de informações de apoio ao uso do produto, incluindo, entre outros, composição química, classe toxicológica, formulação (pó molhável, concentrado emulsionável, etc), cuidados na aplicação, limitações de uso, fitotoxicidade para culturas indicadas, primeiros socorros, tratamento e antídoto.

Classe: InsumoCorretivo

Atributos:

Teor de Ca- teor do nutriente cálcio no produto

Teor de Mg - teor do nutriente magnésio no produto

PRNT - poder relativo de neutralização total do produto

Classe: InsumoFertilizante

Atributos:

Tipo - indica a forma de apresentação do produto, por exemplo, líquido, granulado.

Número de nutrientes - número de nutrientes presente no produto

Nutrientes presentes - quais os nutrientes presentes em quantidades significativas no produto

Teor de nutrientes - quais as quantidades presentes dos nutrientes no produto

Classe: InsumoSemente

Atributos:

Pureza - grau de pureza das sementes

Germinação - porcentagem de germinação do lote

Peneira - Número da peneira para classificação das sementes

Classe: Limite

Atributos:

Talhão - talhão a que se refere o limite especificado

Sistema de coordenadas - define o sistema de coordenadas utilizado para especificação dos pontos do perímetro do talhão, local, ou global.

Sistema de projeção - especifica o sistema de projeção cartográfica para o cálculo das coordenadas.

Pontos de limite - conjunto de dados dos pontos do perímetro do campo

Operações:

converter para coordenadas locais - converte de sistemas de coordenadas global para local

converter para coordenadas globais - converte de sistemas de coordenadas local para global

Classe: Mapa

Atributos:

Talhão - talhão a que se refere o mapa

Nome do Atributo - nome do atributo a que se refere o mapa

Tipo do Atributo - tipo do atributo a que se refere o mapa, numérico, caractere.

Sistema de coordenadas - sistema de coordenadas do mapa

Legenda - informação sobre a correlação entre valores no mapa e sua interpretação.

Método de obtenção - informações sobre todo o processamento que a informação original recebeu até este ponto, incluindo nomes de arquivos intermediários, métodos e parâmetros utilizados nos vários processamentos.

Operações:

editar - permite a edição de qualquer valor de um mapa

derivar - permite realização de operações e funções sobre mapas, isolados ou em conjunto, com o intuito de obter outros mapas, ditos derivados.

simular modelo - permite a realização de simulações de modelos que tenham como variável de entrada atributos de mapas, a fim de se obter outros mapas resultantes da simulação.

gerar mapa de aplicação - permite gerar um mapa de recomendação de aplicação de determinado insumo, com base em um mapa de zonas de manejo e em regras de aplicação do insumo.

Classe: MapaDeAplicação

Atributos:

Operações:

Gerar arquivo de controlador de aplicação

Classe: MapaPrimárioNumérico

Operações:

processar mapa - realiza um processamento no mapa segundo métodos diversos geoestatísticos, de processamento de imagens, etc. (*kriging, weighed moving median, etc.*)

Classe: MáquinaAgrícola

Atributos:

Equipamento Marca - marca do equipamento

Equipamento Modelo - modelo do equipamento

Versão - identificador da versão do equipamento

Número de série - número de série do equipamento

Preço - preço de aquisição do equipamento

Proprietário - nome do proprietário

Classe: MaqAdubador

Atributos:

Tipo de adubo - define o tipo de adubo com que trabalha a máquina, por exemplo, líquidos, pó, granulados.

Capacidade - especifica a capacidade de armazenamento dos tanques ou depósitos.

Número de produtos - define o número de produtos que a máquina manipula simultaneamente.

Faixa de variação da aplicação - faixa de variação da taxa de aplicação passível de ser obtida com a máquina.

Tempo de resposta - tempo de resposta entre o comando de variação de taxa de aplicação e a efetiva alteração da taxa aplicada na saída da máquina

Classe: MaqColhedora

Atributos:

Largura de corte nominal - largura de corte máxima da colhedora

Cultura-alvo - cultura(s) a que se destina a colhedora

Classe: MaqPulverizador

Atributos:

Largura de trabalho - a máxima faixa de trabalho do pulverizador

Número de unidades independentes - seções da barra que podem ser controladas independentemente.

Classe: Proprietário

Atributos:

Nome do Proprietário

Endereço

Parâmetros - parâmetros particulares a adotar em situações específicas, como fatores de risco em modelos econômicos, por exemplo.

Classe: ReceitaDeTarefa

Atributos:

Nome - nome da receita

Operador - nome do operador a quem se destina a receita

Receita - descrição da receita de tarefa, com os procedimentos e parâmetros a utilizar.

Classe: Talhão

Atributos:

Nome do Talhão

Fazenda

Classe: Operador

Atributos:

Nome do Operador

Senha

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRICULTURAL ELECTRONICS ASSOCIATION. **A*E*A yield data dictionary specification**: public review draft. Chicago. AEA, 1997a.
- AGRICULTURAL ELECTRONICS ASSOCIATION. **A*E*A soil fertility data dictionary specification**: public review draft. Chicago. AEA, 1997b.
- AGRIS. Extending AgObjects with OLE automation: a draft proposal. AGRIS, Roswel, 1996.
- AMBUEL, J.R.; COLVIN, T.S.; KARLEN, D.L. A fuzzy logic simulator for prescription farming. **Transactions of the ASAE**. v.37, n.6, p.1999-2009. 1994.
- ANDERSON, N.W.; SMETTE, M.W. Automation of an air drill system. In **INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE**, 5., Orlando, 1994. **Proceedings**. St. Joseph, ASAE, 1994. p.71-5.
- ANDERSON, G.L.; YANG, C. Multispectral videography and geographic information systems for site-specific farm management. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE**, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.681-92.
- ARANGO, G.; PRIETO-DÍAZ, R., ed. **Domain analysis and software systems modeling**. Los Alamitos, IEEE Computer Society Press, 1991a.
- ARANGO, G.; PRIETO-DÍAZ, R. Introduction and overview: domain analysis concepts and research directions. In: PRIETO-DÍAZ, R.; ARANGO, G. **Domain analysis and software systems modeling**. Los Alamitos, IEEE Computer Society Press, 1991b. p.9-32.
- BAHRI, A. et al. Metering characteristics accompanying rate changes necessary for precision farming. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE**, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.369-78.
- BALASTREIRE, L.A. Aplicação localizada de insumos-ALI: um velho conceito novo. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 23., Campinas, 1994. **Resumos**. Campinas, SBEA, 1994. p.248.
- BALASTREIRE, L.A. ; ELIAS, A.I.; AMARAL, J.R.do Agricultura de Precisão: mapeamento da produtividade da cultura de milho. **Revista de Engenharia Rural**. v.8, n.1, p.97-111. 1998. /No prelo/
- BARRETT, J.R.; JONES, D.D. Knowledge engineering in agriculture. St.Joseph. ASAE, 1989. 214p.
- BARROS, O. Requirements elicitation and formalization through external design and object-oriented specification. In: **INTERNATIONAL WORKSHOP ON SOFTWARE SPECIFICATION AND DESIGN**, 7., Redondo Beach, 1993. **Proceedings**. Los Alamitos, IEEE Computer Society, 1993. p.78-87.

- BASHFORD, L.L. et al. Variability in volume metering devices. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.693-702.
- BERRY, J. From pretty maps to mapped data. /Apresentado ao Special Working Session of the 3. International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, 1996 /
- BLACKMER, A.M.; WHITE, S.E. Remote sensing to identify spatial patterns in optimal rates of nitrogen fertilization within cornfields. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.33-42.
- BLACKMORE, S.; MARSHALL, C. Yield mapping errors and algorithms. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.403-16.
- BLACKMORE, S. An information system for precision farming. /Apresentado à Brighton Conference Pests and Diseases, Brighton, 1996./
- BUCHLEITER, G.W.; DUKE, H.R.; HEERMAN, D.F. Controlling variable-rate applications on self-propelled irrigation systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.911. Abstract.
- CAHN, M.D.; HUMMEL, J.W.; BROUER, B.H. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. **Soil Science Society of America Journal**. v.58, p.1240-8, 1994.
- CAHN, J.; HUMMEL, J.W.; SIMPSON, D.G. Computer methods to investigate site-specific crop management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.581-82. Abstract
- CHANCELLOR, W.J.; GORONEA, M.A. Effects of spatial variability of nitrogen, moisture and weeds on the advantages of site-specific applications for wheat. **Transactions of the ASAE**, v.37, n.3, p.717-24, 1994.
- CLARKE, J. et al. An investigation into the relationship between yield maps, soil variation and crop development in UK. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.433-42.
- CLARKE, R.L.; MCGUCKIN, R.L. Variable rate application: an overview. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996a. p.855-62.
- CLARKE, R.L.; MCGUCKIN, R.L. Variable rate application equipment for precision farming. 1996b. /Apresentado à 1996 Beltwide Cotton Conference, Nashville, 1996/
- CLAY, S.A.; BRIX-DAVIS, K. The interaction between the spatial variability of velvetleaf populations and corn yield potentials. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.565. Abstract.

- COLVIN, T.S. et al. Six year yield variability within a Central Iowa field. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.583. Abstract.
- CONSTANTINE, L. Ivar Jacobson has taken... [Foreword]. In: JACOBSON, I. et al. **Object-oriented software engineering: a use case driven approach**. 4.ed.rev. Harlow, Addison Wesley Longman/ACM Press, 1993.
- DABERKOW, S.G. Adoption rates for recommended crop management practices: implications for precision farming. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. Precision Agriculture'97. Oxford, Bios Scientific, 1997. v.2, p.941-7.
- DAVIS, J.G. et al. Using yield variability to characterize spatial crop response to applied N. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.513-20.
- DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION. **Open systems handbook: a guide to building open systems**. 1991.
- DROLLINGER, D.; McCAULEY, D. Inter-process communication. **Resource**. v.4, n.6, p.7-8, 1997.
- EASTON, D. Corn population and plant spacing variability: the next mapping layer. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.723-8.
- ESS, D.R.; JOERN, B.C.; HAWKINS, S.E. Development of a precision application system for liquid animal manure. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.863-70.
- EVANS, R.G.; HAN, S. Field-scale GIS soil database creation. /Apresentado ao 1994 International Winter Meeting, ASAE, Atlanta, 1994. Paper nº 94-3078/
- EVANS, R.G.; HAN, S.; RAWLINS, S.L. GIS capabilities and limitations for precision farming. /Apresentado ao 1995 International Winter Meeting, ASAE, Chicago, 1995. Paper nº 95-3236/
- EVERETT, M.W.; PIERCE, F.J. Variability of corn yield and soil profile nitrates in relation to site-specific N management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.43-54.
- FATOR GIS. Se for GIS pense OpenGIS. n.19, p.24-6, maio/jun.1997.
- GERHARDS, R.; MORTESEN, D.A.; WYSE-PESTER, D.Y. Spatial stability of weed patches in agricultural fields. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.495-504.

- GILES, D.K.; HENDERSON, G.W.; FUNK, K. Digital control of flow rate and droplet size from agricultural nozzles for precision chemical application. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.729-38.
- GOERING, C.E. How much and where. **Agricultural Engineering**. v.73, n.4, p.13-5. July. 1992.
- GOERING, C.E. Recycling a concept. **Agricultural Engineering**. v.74, p.25, Nov. 1993.
- GOERING, C.E.; HAN, S. A field information system for SSCM. /Apresentado ao 1993 International Off-Highway & Powerplant Congress & Exposition, Milwaukee, SAE. Warrendale, paper nº 932422. 1993. SAE technical paper series./
- GOTWAY, C.A.; FERGUSON, R.B; HERGERT, G.W. The effects of mapping and scale on variable rate fertilizer recommendations for corn. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.321-30.
- GREESPAN, S.J.; MYLOPOULOS, J.; BORGIDA, A. Capturing more world knowledge in the requirements specification. In: PRIETO-DÍAZ, R.; ARANGO, G. **Domain analysis and software systems modeling**. Los Alamitos, IEEE Computer Society Press tutorial, 1991. p.53-62.
- HAN, S. et al. A robust method for estimating soil properties in unsampled cells. **Transactions of the ASAE**, v.39, n.5, p.1363-8, Sept-Oct. 1993.
- HAN, S.; EVANS, R.G. An integrated system for identifying BMP'S under center-pivot irrigation. /Apresentado ao 1994 International Winter Meeting, ASAE, Atlanta, 1994. Paper nº94-3519/
- HAN, S. et al. Cell size selection for site-specific crop management. **Transactions of the ASAE**, v.37, n.1, p.19-26. 1994.
- HAN, S. et al. Linking a geographic information system with a potato simulation model for site-specific crop management. **Journal of Environmental Quality**, v.24, n.4, p.772-7, jul-ago 1995.
- HIRAMA, K. **MetodOO - Método de desenvolvimento de sistemas orientado a objetos: uma abordagem integrada à análise estruturada e redes de Petri**. São Paulo, 1994. 289p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- HUMMEL, J.W. Sensors and computer systems - expanding opportunities in site-specific crop management. **Resource**, v.3, n.9, p.7-8, Sept. 1996.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **Tractors and machinery for agriculture and forestry: serial control and communications data network**. ISO/WD 11783-1. 1994. Part 1: General Standard.

- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO.
Machinery for Agriculture and Forestry - Data interchange between management computer and process computer - Data Interchange Syntax.
 ISO 11787. 1995.
- JACOBSON, I. et al. **Object-oriented software engineering: a use case driven approach.** 4.ed.rev. Harlow, Addison Wesley Longman/ACM Press, 1993
- JÜRSCHIK, P. Information management for precision farming. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. **Precision Agriculture'97.** Oxford, Bios Scientific, 1997. v.2, p.477-84.
- KARLEN, D.L.; CAMBARDELLA, C.A.; COLVIN, T.S. Soil test variability in adjacent Iowa fields. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings.** Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.237-44.
- KHAKURAL, B.R.; ROBERT, P.C.; MULLA, D.J. Relating corn/soybean yield to variability in soil and landscape characteristics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings.** Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.117-28.
- KING, B.A. et al. Spatially varied nitrogen application through a center pivot irrigation system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings.** Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.85-95.
- LANDERS, A. Computer aided pesticide application (CAPA) - a spraying system for the future? **The Agricultural Engineer.** v.47, n.3, p.68-71, Autumn 1992.
- LARK, R.M.; STAFFORD, J.V. Consistency and change in spatial variability of crop yield over successive seasons: methods of data analysis. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings.** Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.141-50.
- LARSCHEID, G.; BLACKMORE, S. Interactions between farm managers and information systems with respect to yield mapping. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings.** Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.1153-64.
- LARK, R.M. Variation in soil condition and crop performance. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. **Precision Agriculture'97.** Oxford, Bios Scientific, 1997. v.1, p.127-35.
- LEIVA, F.R.; MORRIS, J.; BLACKMORE, S.B. Precision farming techniques for sustainable agriculture. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. **Precision Agriculture'97.** Oxford, Bios Scientific, 1997. v.2, p.957-66.
- LOWENBERG-DeBOER, J.; BOEHLJE, M. Revolution, evolution or dead-end: economic perspectives on precision agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings.** Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.923-44.

- LU, Y.-C.; WATKINS, B. Economic and environmental evaluation of variable rate nitrogen applications using a biophysical model. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. **Precision Agriculture'97**. Oxford, Bios Scientific, 1997. v.2, p.931-9.
- MACY, T.S.; DONDERO, J. Building total crop production management solutions using OLE automation for third-party interoperability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.1187./Resumo; Trabalho completo distribuído em separado no evento/
- MALLARINO, A.P.; HINZ, P.N.; OYARZABAL, E.S. Multivariate analysis as a tool for interpreting relationships between site variables and crop yields.
- MANGOLD, G.D. Entrapped or empowered by technology? **Resource**, v.2, n.5, p.9-11, May 1995.
- McBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M.; ROSSEL, R.A.V. Spatial prediction for precision agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.331-42.
- McBRATNEY, A.B.; PRINGLE, M.J. Spatial variability in soil: implications for precision agriculture. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. **Precision Agriculture'97**. Oxford, Bios Scientific, 1997. v.1, p.3-31.
- McCANN, B.L.; PENNOCK, D.J.; VAN KESSEL, C. The development of management units for site specific farming. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.295-302.
- McKINION, J.M. et al. Model-based decision support system for precision agriculture in cotton production. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. **Precision Agriculture'97**. Oxford, Bios Scientific, 1997. v.2, p.768-75.
- UNIVERSITY OF MISSOURI. Site Specific Crop Management. Columbia. /1995/. /folheto/
- MOTZ, D.S.; SEARCY, S.W.; NEUHAUS, P.E. PC-MAPS: a tool for site specific crop management./ Apresentado ao 1993 International Winter Meeting, ASAE, Chicago, 1993. Paper nº93-3556/
- NEIGHBORS, J.M. DRACO: A method for engineering reusable software systems. In: PRIETO-DÍAZ, R.; ARANGO, G. **Domain analysis and software systems modeling**. Los Alamitos, IEEE Computer Society Press, 1991. p.34-52.
- NEUHAUS, P.E.; SEARCY, S.W. Variable planting density and fertilizer rate application system. /Apresentado ao 1993 International Winter Meeting, ASAE, Chicago, 1993. Paper nº93-1554/
- NICOL, J.R.; WILKES, C.T.; MANOLA, F.A. Object orientation in heterogeneous distributed computing systems. **Computer**, v.26, n.6, p.57-67, June.1993.

- NIELSEN, D.R. et al. Challenges and opportunities of instrumentation and field measurements. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1., São Carlos, 1996. **Anais**. São Carlos, EMBRAPA-CNPDIA, 1997. p. 65-80.
- NOLIN, M.C.; GUERTIN, S.P.; WANG, C. Within-field spatial variability of soil nutrients and corn yield in a Montreal lowlands clay soil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.257-70.
- NORTH, K. Understanding OLE. **DBMS Database & Client-Server Solutions**. v.8, n.7, June 1995.
- OLIESLAGERS, R.; RAMON, H.; DeBARDERMAEKER, J. Design of a centrifugal spreader for site-specific fertilizer application. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.745-56.
- OpenGIS CONSORTIUM. **The OpenGIS guide**: introduction to interoperable geoprocessing. Wayland, 1996a. (OpenGIS document TC 96-001).
- OpenGIS CONSORTIUM. **The OpenGIS abstract specification**: an object model for interoperable geoprocessing. 1.rev. Wayland, 1996b. (OpenGIS project document number 96-015R1).
- PAICE, M.E.R.; DAY, W. Modelling the patch spraying concept. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.571. Abstract.
- PAZ, S.M. **Uma ferramenta para desenvolvimento de equipamentos que utilizem um receptor do Sistema de Posicionamento Global (GPS)**. São Paulo, 1996. 97p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- PLATTNER, C.E.; HUMMEL, J.W. Corn plant population sensor for precision agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.785-94.
- PRESSMAN, R.S. **Engenharia de software**. São Paulo, Makron Books, 1995. Cap.1, 3-52: Software e engenharia de software. Cap.6, p.231-274: Princípios fundamentais da análise de requisitos. Cap.8, p.317-52: Análise orientada a objetos. Cap.12, p.521-64: Projeto orientado a objetos.
- RAWLINS, S. Moving from precision to prescription farming: the next plateau. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.283-94.
- ROBERT, M. et al. Determination of field characteristics for spatially selective applications of nitrogen fertilizers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.303-14.

- RUDOLPH, W.W.; SEARCY, S.W. Strategies for prescription application using the chemical injection control system with computer commanded rate changes. /Apresentado ao 1994 International Winter Meeting, ASAE, Atlanta, 1994. Paper nº94-1585/
- RUMBAUGH, J. **OMT insights: perspectives on modeling from the Journal of Object-Oriented Programming**. New York, SIGS Books, 1996.
- RUMBAUGH, J. et al. **Modelagem e projetos baseados em objetos**. trad. de D.C. Alencar. Rio de Janeiro, Campus, 1997.
- SADLER, E.J. et al. A site-specific center pivot irrigation system for highly variable coastal plain soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.827-34.
- SARAIVA, A.M.; CUGNASCA, C.E.; PAZ, S.M. Improving a planter monitor with a GPS receiver. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. **Precision Agriculture'97**. Oxford, Bios Scientific, 1997. /trabalho aceito para publicação/
- SCHUELLER, J.K. A review and integrating analysis of spatially-variable control of crop production. **Fertilizer Research**. v.33, p.1-34, 1992.
- SCHUELLER, J.K.; WANG, M.W. Spatially-variable fertilizer and pesticide application with GPS and DGPS. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.11, p.69-83. 1994.
- SCHEPERS, J.S. et al. Remote sensing tools for site-specific management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.315-20.
- SCHRÖDER, D.; HANEKAUS, S.; SCHNUG, E. Information management in precision agriculture with LORIS. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. **Precision Agriculture'97**. Oxford, Bios Scientific, 1997. v.2, p.821-6.
- SEARCY, S.W. Engineering systems for site-specific management: opportunities and limitations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE SPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 2., Minneapolis, 1994. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1995. n.44.
- SKOTNIKOV, A.V.; McGRATH, D.E. Yield and residue monitoring system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.893-9
- SKOTNIKOV, A.; ROBERT, P. Site-specific crop management - a systems approach. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.1145-1152D.
- SOLOMON, C. **Desenvolvendo aplicativos com Microsoft OFFICE**. São Paulo, Makron Books, 1995.

- SOUZA, J.U.F.; MELNIKOFF, S.S.S. Métodos orientados para objetos: um estudo comparativo. In: JORNADA USP-SUCESU DE INFORMÁTICA E TELECOMUNICAÇÕES, 2., São Paulo, 1994. **Anais**. São Paulo, SUCESU-SP, 1994. p.63-72.
- STAFFORD, J.V. Essential technology for precision agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.595-604.
- SUDDUTH, K.A. et al. Analysis of spatial factors influencing crop yield. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.129-40.
- SWINDEL, J.E.G. Mapping the spatial variability in the yield potential of arable land through GIS analysis of sequential yield map. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. **Precision Agriculture'97**. Oxford, Bios Scientific, 1997. v.2, p.827-34.
- THOMAS, D. Ivar Jacobson is in... [Foreword]. In: JACOBSON, I. et al. **Object-oriented software engineering: a use case driven approach**. 4.ed.rev. Harlow, Addison Wesley Longman/ACM Press, 1993.
- THOMPSON, W.H.; McGRATH, D.E. Impact of dry fertilizer multiple product blending on variable rate application precision. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.919. Abstract.
- UNIVERSITY OF GEORGIA AT ATHENS. Variable rate technology, a literature review. [Online]. Precision farming laboratory, Biological and Agricultural Engineering Department. Disponível: <http://www.BAE.uga.edu/dept/resarch/precision/summaris.html>. [11/Out/96a - 8:46].
- UNIVERSITY OF GEORGIA AT ATHENS. Variable rate technology, a state of the art review. [Online]. Precision farming laboratory, Biological and Agricultural Engineering Department. Disponível: <http://www.BAE.uga.edu/dept/resarch/precision/rough.html>. [11/Out/96b - 8:15].
- WALL, R.W.; KING, B.A.; McCANN, I.R. Center-pivot irrigation system control and data communication network for real-time variable water application. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1996. p.757-66.
- WEI, S.; GUAN, S.C.; SEARCY, S.W. PC_MAPS for Windows 1.5 User's Guide. Jun.1995.
- WEISS, M.D. Phosphorus fertilizer application under precision farming: a simulation of economic and environmental implications. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. **Precision Agriculture'97**. Oxford, Bios Scientific, 1997. v.2, p.967-74.
- WENDROTH, O. et al. State-space approach to spatial variability of crop yield. **Soil Science Society of America Journal**. v.56, p.801-7. 1992.