

**WOODSS - Sistema Espacial de Apoio ao
Processo Decisório baseado em *Workflows***

Laura Andrea Seffino

Dissertação de Mestrado

WOODSS - Sistema Espacial de Apoio ao Processo Decisório baseado em *Workflows*

Laura Andrea Seffino¹

Julho de 1998

Banca Examinadora:

- Profa. Dra. Claudia M. Bauzer Medeiros (Orientadora)
- Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha
Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP
- Profa. Dra. Heloisa Vieira da Rocha
Instituto de Computação - UNICAMP
- Prof. Dr. Alexandre Xavier Falcão (suplente)
Instituto de Computação - UNICAMP

¹Trabalho financiado pelo CNPq.



UNIDADE	78C
N.º CHAMADA:	
Se36w	
V.º	34717
PREC	395198
C	☐
D	☒
PREC	R\$ 11,00
DATA	11/08/98
N.º CPD	

CM-00114613-9

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO IMECC DA UNICAMP

Seffino, Laura Andrea

Se36w WOODSS - Sistema espacial de apoio ao processo decisório baseado em workflows / Laura Andrea Seffino -- Campinas, [S.P. :s.n.], 1998.

Orientador : Claudia M. Bauzer Medeiros

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Computação.

I. Sistemas de informação geográfica. 2. Processo decisório. I. Medeiros, Claudia Maria Bauzer. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Computação. III. Título.

WOODSS - Sistema Espacial de Apoio ao Processo Decisório baseado em *Workflows*

Este exemplar corresponde à redação final da
Dissertação devidamente corrigida e defendida
por Laura Andrea Seffino e aprovada pela Ban-
ca Examinadora.

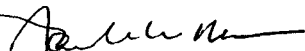
Campinas, 15 de julho de 1998.



Profa. Dra. Claudia M. Bauzer Medeiros
(Orientadora)

Dissertação apresentada ao Instituto de Com-
putação, UNICAMP, como requisito parcial para
a obtenção do título de Mestre em Ciência da
Computação.

**Tese de Mestrado defendida e aprovada em 15 de julho de 1998
pela Banca Examinadora composta pelos Professores Doutores**



Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha



Profa. Dra. Heloísa Vieira da Rocha



Profa. Dra. Cláudia Maria Bauzer Medeiros

© Laura Andrea Seffino, 1998.
Todos os direitos reservados.

Aos meus pais.

Sumário

A área de planejamento agro-ambiental vem se beneficiando com a aplicação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que facilitam o gerenciamento de dados espaciais. No entanto, os SIG não incorporam facilidades que permitam re-aproveitar a experiência ganha nos processos decisórios para resolver problemas similares no futuro.

Esta dissertação especifica e implementa um Sistema Espacial de Apoio ao Processo Decisório, visando contribuir à solução dessa limitação. O objetivo do sistema, denominado WOODSS, é auxiliar especialistas na área de planejamento ambiental a resolver seus problemas de decisão. As atividades do usuário ao utilizar um SIG são interceptadas pelo WOODSS, que as documenta sob forma de *workflows*. Estes *workflows* podem ser editados e re-executados no SIG. O WOODSS permite, desta forma, documentação, repetição e construção de processos decisórios em um SIG. O WOODSS foi implementado junto ao SIG IDRISI, havendo sido testado na solução de problemas na área agro-ambiental.

Abstract

Nowadays, agri-environmental planning takes advantage of Geographic Information Systems (GIS) to manage geo-spatial data. Nevertheless, GIS do not provide facilities to reuse users' expertise in solving problems.

The main goal of this dissertation is providing a solution to this limitation, specifying and implementing a Spatial Decision Support System. The user interactions with GIS are intercepted by WOODSS, which documents them as scientific workflows. These workflows can be edited and re-executed directly in the GIS. WOODSS thus allows documenting and repeating planning activities, as well as creating new planning strategies. It was implemented on top of the IDRISI software, and tested in the context of agri-environmental planning activities.

Agradecimentos

- À professora Claudia pela orientação e incentivo constantes.
- Aos meus colegas do Grupo de Banco de Dados do IC pela colaboração na troca de idéias, em especial à Bei Yi pela sua ajuda na implementação do WOODSS.
- Aos professores e funcionários do IC.
- Aos meus amigos do IC.
- Ao meu esposo Mario.
- À minha avó, meus pais Hedy e Mario, e meus irmãos Paola, Claudio e Marito.

Este trabalho foi desenvolvido no laboratório LIS do IC-UNICAMP, com apoio parcial do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), do projeto GEOTEC do PROTEM-CC (CNPq), da FAPESP e do projeto SAI - Sistemas Avançados de Informação do PRONEX II-MCT.

Conteúdo

Sumário	vii
Abstract	ix
Agradecimentos	xi
1 Introdução e Motivação	1
2 Conceitos Básicos e Metodologia	5
2.1 Sistemas de Informação Geográfica	5
2.2 Sistemas de Apoio ao Processo Decisório	7
2.2.1 Características Básicas	7
2.2.2 Arquitetura Básica de um DSS	9
2.2.3 Sistemas Espaciais de Apoio ao Processo Decisório	12
2.2.4 Avaliação sob Múltiplos Critérios e Aplicações Geográficas	13
2.3 Metodologia de Desenvolvimento de Aplicações Ambientais	18
2.4 Resumo	20
3 Sistemas de <i>Workflows</i>	21
3.1 Noções Básicas	21
3.2 <i>Workflows</i> Científicos	22
3.3 Uso de <i>Workflows</i> na Documentação de Atividades em um SIG	24
3.4 Resumo	27
4 O Sistema WOODSS	29
4.1 O WOODSS sob a Perspectiva de um DSS	29
4.2 Interação Usuário-SIG-WOODSS	31
4.3 Arquitetura do WOODSS	33
4.3.1 Banco de <i>Workflows</i>	33
4.3.2 Módulo Monitor	35

4.3.3	Módulo de Atualizações	35
4.3.4	Módulo Gestor de <i>Workflows</i>	36
4.3.5	Módulo de Consultas	36
4.4	Resumo	37
5	Aspectos de Implementação	39
5.1	O SIG IDRISI	39
5.2	Módulo Monitor	42
5.3	Banco de <i>Workflows</i> e Meta-dados	43
5.3.1	Relação <i>Workflows</i>	43
5.3.2	Relação Atividades	44
5.3.3	Relação Arquivos	45
5.3.4	Relação Dependencias	45
5.3.5	Registro de Meta-dados	46
5.4	Módulo Gestor de <i>Workflows</i>	46
5.5	Módulo de Consultas	49
5.6	Re-execução de Atividades	52
5.7	Módulo de Atualizações	53
5.8	Interface	55
5.8.1	Traçado Gráfico de um <i>Workflow</i>	57
5.8.2	Consultas	57
5.8.3	Re-execução de Atividades	60
5.9	Resumo	62
6	Exemplo de Uso do Sistema	63
6.1	Problema	63
6.2	Uso do WOODSS	66
6.3	Resumo	70
7	Considerações Finais	71
7.1	Conclusões e Contribuições	71
7.2	Avaliação dos Resultados Experimentais	72
7.3	Extensões	73
7.3.1	Extensões à Implementação	73
7.3.2	Extensões ao Modelo Conceitual	74
A	Módulos do IDRISI utilizados	77
	Bibliografia	80

Lista de Tabelas

5.1	Busca no Banco de <i>Workflows</i> e Registros de Meta-dados	51
-----	--	----

Lista de Figuras

2.1	Arquitetura de um DSS	10
2.2	Modelo Geral das Técnicas MCDM.	16
2.3	Metodologia de Desenvolvimento de Aplicações Ambientais	19
3.1	<i>Workflow</i> de Alto Nível correspondente às Etapas da Metodologia	25
4.1	O WOODSS sob a Perspectiva de um DSS	30
4.2	Interação Usuário-SIG-WOODSS	32
4.3	Arquitetura do WOODSS	34
5.1	Registros de Atividades e Erros do <i>Log</i> do IDRISI	41
5.2	<i>Log</i> correspondente a execuções do módulo <i>Reclass</i>	42
5.3	Registro de Meta-dados associado a um <i>Workflow</i>	46
5.4	<i>Workflow</i> correspondente à Resolução do Problema	48
5.5	Arquivo de <i>Log</i> gerado pelo IDRISI para o problema	49
5.6	Descrição do <i>Workflow</i> : Atividades, Arquivos e Dependências	50
5.7	Registro de Meta-dados	51
5.8	<i>Workflow</i> Parcial: Tmpatividades, Tmparquivos e Tmpdependências	54
5.9	Arquivo de Macro gerado pelo WOODSS	55
5.10	Interface Geral do WOODSS	56
5.11	Especificação de Consultas no WOODSS	58
5.12	Resultado de uma Consulta ao Banco de <i>Workflows</i>	59
5.13	Consulta a uma Atividade	59
5.14	Consulta a uma Dependência de Dados	60
5.15	Seleção de Atividades	61
5.16	Re-execução de Atividades	61
6.1	Arquivo de <i>Log</i> gerado pelo IDRISI	67
6.2	<i>Workflow</i> : Atividades, Arquivos e Dependências	68
6.3	Registro de Meta-dados	69
6.4	Parte do <i>Workflow</i> correspondente ao Cálculo do Comprimento de Rampa	69

Capítulo 1

Introdução e Motivação

As técnicas de geoprocessamento vêm sendo cada vez mais utilizadas na área agro-ambiental. Existem inúmeros exemplos na literatura que descrevem seu uso para a avaliação da aptidão agrícola das terras, estudos de erosão do solo, levantamento e cartografia dos solos e análises ambientais. Além disso, são usadas como auxílio na interpretação de imagens no estudo dos solos, distribuição espacial de culturas e pastagens, dentre muitos outros usos [Roc94].

Em geral, nestes estudos os dados são estruturados em *planos de informação* (PI) e combinados para obter um PI resultado. De forma simplificada, um PI representa uma região sob um determinado aspecto ou conjunto de aspectos (vegetação, hidrografia, etc) sendo visualizado como um mapa. Por exemplo, planos de informação de tipos de solos, hidrografia, relevo e uso da terra são combinados para formar um mapa de aptidão agrícola das terras de uma região.

O objetivo destes estudos é determinar como o homem pode satisfazer suas necessidades exercendo o menor impacto possível no meio natural. O planejamento do uso da terra tem como função orientar as decisões sobre seu uso. Para tal fim devem ser avaliados aspectos físicos, biológicos, sociais, econômicos e políticos. Araújo menciona em [Ara97] a importância do geoprocessamento e do sensoriamento remoto no planejamento do uso da terra e na análise ambiental. A tecnologia atual é apoiada pelo uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Um SIG é um software que permite manipular dados geográficos, incluindo funções de análise e apresentação cartográfica. Permite, por exemplo, obter mapas intermediários, quantificar áreas automaticamente, manter informação geoambiental atualizada e visualizar as variações espaciais e temporais do uso da terra.

Na área florestal[Bar94, Cor94], os SIGs são usados no planejamento e controle de informação sobre maciços florestais, geralmente distribuídos em lugares geográficos diferentes e com diversidade de solos, clima e topografia. Auxiliam na emissão de mapas de infraestrutura, de áreas de florestamento e de preservação, no controle de pragas e

doenças, estudos de tipos de manejo, planejamento de áreas de preservação, simulações de plantios e colheitas, e otimizações de custo e tempo.

Embora os usuários reconheçam o auxílio dos SIG na tomada de decisões, a capacidade destes sistemas é limitada. Em primeiro lugar, embora ofereçam vários tipos de módulos de manipulação de dados geográficos, eles não dispõem de ferramentas que auxiliem o usuário na escolha do módulo mais adequado ao seu tipo de dado. Em segundo lugar, cada SIG tem seu conjunto de comandos e funções, o que obriga o usuário a um grande esforço de aprendizado no seu uso.

Na verdade, um SIG só pode ser considerado como uma ferramenta de apoio à decisão pelo fato de que permite a produção de vários tipos de mapas, a partir dos quais o usuário pode identificar alternativas para decisão. A tomada de decisões tem, neste contexto, duas etapas: (1) a produção dos mapas, direcionada a um conjunto de objetivos pré-determinado; e (2) a análise crítica destes mapas e de outros fatores associados. Os passos que levam à produção destes mapas (escolha dos dados, das funções do SIG ativadas e dos parâmetros para estas funções) fazem, assim, parte do processo decisório.

O objetivo desta dissertação é oferecer ao usuário ferramentas que facilitem a primeira etapa do processo decisório, ou seja, a geração dos mapas usando um SIG. Como resultado deste esforço, foi especificado e construído um sistema acoplado a um SIG, que auxilia o usuário na primeira etapa do processo decisório, relativa à criação dos mapas. Este sistema, denominado WOODSS (WorkfLOW-based spatial Decision Support System), foi desenvolvido no laboratório LIS-IC/UNICAMP, está centrado no paradigma de *workflows* científicos [WWVM96, WVM96, VWV96, MVW96b, MVW96a, WVM98] e utiliza o fato de que a especificação e produção de mapas para planejamento na área agro-ambiental pode ser entendida como um experimento científico, podendo ser descrita sob a forma de *workflows*.

O WOODSS tem dois papéis:

1. **Documentação.** As interações do usuário com o SIG são capturadas pelo sistema e transformadas em uma especificação sob a forma de *workflow* científico (modelo). Estas especificações são, por sua vez, armazenadas em um banco de dados de *workflows*, documentando a atividade do usuário.
2. **Ajuda ao Usuário.** O sistema permite ao usuário pesquisar *workflows* já armazenados para re-proveitá-los ao desenvolver novas atividades de planejamento. A interface do WOODSS facilita esta atividade diminuindo a distância entre o usuário e o SIG.

O WOODSS foi desenvolvido usando a linguagem orientada a objetos JavaTM [HRSM97b, Fla97, CH97a], e está acoplado ao IDRISI [Eas97a, Eas97b], um SIG de mercado ampla-

mente utilizado em todo o mundo na área agro-ambiental. O trabalho da dissertação foi validado para esta área.

A dissertação está organizada da seguinte forma:

Capítulo 2 Conceitos Básicos e Metodologia. Este capítulo introduz Sistemas de Informação Geográfica e descreve conceitos relacionados aos Sistemas de Apoio ao Processo Decisório em geral e aos Sistemas Espaciais de Apoio ao Processo Decisório em particular. Por último, revê uma metodologia de desenvolvimento de aplicações geográficas proposta em [Pir97] e que é usada no WOODSS.

Capítulo 3 Sistemas de *Workflows*. O capítulo define noções básicas de Sistemas de *Workflows* tradicionais e analisa características dos Sistemas de *Workflows* científicos. Discute também o uso de *workflows* na documentação de atividades executadas em um SIG sob o prisma de *workflows* científicos.

Capítulo 4 O Sistema WOODSS. O capítulo descreve as características do WOODSS sob o ponto de vista da sua arquitetura, utilizando os conceitos introduzidos nos capítulos 2 (sistemas de apoio ao processo decisório e metodologia) e 3 (*workflows* científicos). O objetivo deste sistema é acompanhar as atividades executadas pelos especialistas em um SIG, documentá-las através de *workflows*, e disponibilizá-las para serem re-aproveitadas em outros processos decisórios.

Capítulo 5 Aspectos de Implementação. O capítulo discute alguns aspectos da implementação do WOODSS. O WOODSS foi implementado usando a linguagem orientada a objetos JavaTM a partir das operações executadas no SIG IDRISI. As operações, juntamente com dados fornecidos pelos usuários, formam o banco de *workflows*. Este foi implementado como um conjunto de relações no Visual FoxProTM versão 5.0.

Capítulo 6 Exemplo de Uso do Sistema. Este capítulo analisa através de um exemplo o uso do WOODSS para a resolução de problemas decisórios na área de planejamento agro-ambiental. Uma aplicação real é apresentada, junto com o *workflow* e registro de meta-dados gerados pelo WOODSS.

Capítulo 7 Considerações Finais. O capítulo discute conclusões e contribuições da dissertação, propondo algumas extensões ao modelo conceitual do WOODSS e à implementação realizada.

Capítulo 2

Conceitos Básicos e Metodologia

A dissertação combina trabalho em duas áreas: SIG e sistemas de apoio à decisão. Este capítulo introduz os conceitos básicos necessários ao entendimento do texto. A seção 2.1 define Sistemas de Informação Geográfica. A seção 2.2 define e discute as características de Sistemas de Apoio ao Processo Decisório (DSS) em geral e de Sistemas Espaciais de Apoio ao Processo Decisório (SDSS) em particular. A seção 2.3 descreve uma metodologia de desenvolvimento de aplicações geográficas utilizada no WOODSS.

2.1 Sistemas de Informação Geográfica

Um *Sistema de Informação Geográfica* (SIG) é um sistema automatizado usado para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la [CCH⁺96].

Em [CWP95] é citada uma outra definição, relacionada ao uso de SIG para apoiar os processos decisórios. Neste caso, um SIG é considerado como um sistema de gerenciamento de informação que coleta, armazena e recupera informação baseando-se em sua localização espacial, identifica lugares que satisfazem certos critérios dentro de um contexto, explora relações entre conjuntos de dados, analisa os dados relacionados espacialmente para apoiar a tomada de decisões, facilita a passagem de dados aos modelos de análise para determinar o impacto das alternativas, e apresenta os ambientes selecionados antes ou depois da análise.

Os SIG auxiliam o trabalho dos especialistas de diversas áreas e com níveis de conhecimento não uniformes, permitindo-lhes a integração transparente de diferentes tipos de dados, geralmente recuperados a partir de fontes heterogêneas. Dependendo do objetivo, um fenômeno geográfico pode ser analisado de forma e precisão diferentes, e os mesmos dados podem ser combinados com distintos tipos de informação, o que causa um impacto

direto na sua coleta, modelagem e armazenamento. Além disso, as aplicações requerem manipular fenômenos diferentes, associados a propriedades que variam no espaço e no tempo. Estas características, junto com os distintos perfis dos usuários, levam à necessidade de que o SIG incorpore uma ampla variedade de funções de análise e manipulação de dados geográficos.

Uma grande gama de aplicações pode ser desenvolvida com o uso de SIG. As aplicações podem ser classificadas como: *sócio-econômicas*, *ambientais* e de *gerenciamento* [MGR93]. As aplicações sócio-econômicas envolvem o uso da terra (cadastros rurais, irrigação), a ocupação humana (cadastros urbanos, redes de utilidades públicas) e atividades econômicas (indústrias, marketing). As aplicações ambientais analisam o meio ambiente (ecologia, clima, gerenciamento florestal, poluição) e o uso dos recursos naturais (extrativismo vegetal e mineral, energia, recursos hídricos); exemplos são os sistemas de informação de solos, estudos ambientais de mudanças globais e de adequação de zonas para parques nacionais. As aplicações de gerenciamento envolvem a realização de estudos e projeções que determinam onde e como alocar os recursos; incluem planejamento de tráfego, de obras públicas, ou da defesa civil, a localização de prédios de serviços e de recursos agrícolas (áreas de cultivo, épocas de estiagem).

Os SIG utilizam dados *georreferenciados*, ou seja, dados que descrevem fatos, objetos e fenômenos do globo terrestre associados à sua localização sobre a superfície terrestre, num certo instante ou período de tempo [CCH⁺96]. Estes dados são compostos por características não-espaciais, espaciais e temporais. Os relacionamentos entre os dados também devem ser representados, sendo muitas vezes imprecisos e dependentes do contexto. As consultas realizadas envolvem o estudo dos fenômenos quanto a sua distribuição espacial e temporal, e os relacionamentos espaço-temporais com outros fenômenos geográficos.

A realidade é freqüentemente modelada pelo usuário segundo duas visões: *modelo de campos* e *modelo de objetos*. No modelo de campos, uma área geográfica é particionada em regiões disjuntas com um único valor associado a cada região, sendo enfatizada a descrição das variações dos fenômenos sem identificar entidades independentes. O modelo de objetos, por outro lado, considera entidades independentes com limites e identidade definidos. Assim, o modelo de campos é usado para descrever fenômenos climáticos, solos ou vegetação, enquanto o modelo de objetos é mais adequado para representar artefatos humanos (pontes, estradas, cidades).

Campos são freqüentemente armazenados no formato *matricial*; a vizinhança dos elementos da matriz (células) determina os relacionamentos topológicos e a sua posição na matriz determina as coordenadas geográficas. Operações típicas incluem superposição de matrizes e classificação. Objetos são tipicamente representados no formato *vetorial* (pontos, linhas e polígonos) e as operações mais comuns são topológicas e métricas. Representações diferentes para um mesmo campo ou objeto coexistem devido às variações

nas perspectivas dos usuários ou nas aplicações, e a fatores técnicos como resolução, escala e projeção cartográfica. Estas representações podem ser armazenadas ou calculadas a partir de outras.

Segundo [CCH⁺96], as principais classes de dados geográficos são os mapas temáticos, mapas cadastrais, redes, modelos numéricos de terreno (MNT) e imagens. Os mapas temáticos mostram as regiões particionadas em polígonos segundo valores relativos a um tema (por exemplo, solo, vegetação). Estes polígonos não correspondem a objetos identificáveis do mundo real. Os mapas cadastrais apresentam objetos identificáveis (por exemplo, prédios, ruas). As redes representam serviços de utilidades públicas, bacias hidrográficas ou rodovias, com a informação espacial geralmente representada através de um grafo. Os MNT são usados para representar grandezas que variam continuamente no espaço, permitindo, por exemplo, modelar unidades geológicas, dados de altimetria ou criar mapas de declividade. As imagens são objetos reais contínuos discretizados para a representação digital.

2.2 Sistemas de Apoio ao Processo Decisório

Esta seção descreve algumas definições e características dos Sistemas de Apoio ao Processo Decisório em geral, e dos Sistemas Espaciais de Apoio ao Processo Decisório em particular. Por último, introduz noções básicas de avaliação sob múltiplos critérios, usada na resolução de muitos dos problemas encontrados na área de estudo considerada nesta dissertação.

2.2.1 Características Básicas

Um *Sistema de Apoio ao Processo Decisório* (*Decision Support System - DSS*) é um sistema baseado em computador projetado para aumentar a efetividade dos tomadores de decisões, fornecendo para tal fim mecanismos que facilitam a interação com os modelos de análise e os dados [RHS89, Hog89, AN89].

Um tomador de decisões avalia soluções alternativas alcançadas através do estudo de objetivos (possivelmente em conflito) e determina a melhor opção, seguindo um processo de refinamentos sucessivos. Em geral, são analisadas situações complexas nas quais diversos critérios precisam ser levados em consideração.

Existem características básicas que definem os requisitos necessários em um DSS. Um DSS deve [Mit86, RHSW89, BD96, Kee95]:

1. Evitar impor automatizações do processo decisório e seqüências fixas de análise; assim o tomador de decisões não é “controlado” pelo sistema.

2. Auxiliar tomadores de decisões com distintos níveis e "tipos" de conhecimento e experiência, e com diferentes estilos de tomada de decisões.
3. Integrar e coordenar o processo de decisão de usuários diferentes, trabalhando de forma conjunta ou sequencial, para resolver partes relacionadas de um problema maior.
4. Apoiar todas as fases do processo de decisão: o estudo do ambiente para determinar a necessidade de tomar uma decisão, a geração e análise de soluções factíveis e a escolha e implementação da decisão.
5. Se adaptar às mudanças no ambiente e estilos de decisão.
6. Oferecer uma interface de usuário interativa, que permita explorar os cenários alternativos de solução.
7. Estabelecer suporte para execuções *não lineares* durante o processo de tomada de decisões, permitindo ao usuário abandonar ou re-considerar cenários de solução.
8. Prover facilidades de incorporar dinamicamente o conhecimento obtido a partir dos resultados dos modelos e da experiência do tomador de decisões na formulação de um problema, na especificação das características desejadas em uma solução e na execução da decisão escolhida.
9. Armazenar a história das decisões tomadas e como estas foram atingidas para justificá-las ou permitir sua re-utilização por outros usuários que necessitem tomar decisões em situações similares.

Processo de Decisão

Um DSS deve permitir ao usuário explorar um problema para aumentar seu entendimento e assim chegar à solução por refinamentos sucessivos. O padrão de trabalho em tal contexto consiste em gerar e avaliar soluções alternativas alcançadas através do estudo dos compromissos entre objetivos em conflito, e em identificar características indesejáveis nas soluções. Para isto, o DSS precisa contemplar facilidades para incorporar novos fatores e mudar a importância relativa dos parâmetros. A tomada de decisões exige a intervenção direta do especialista, que deve decidir as funções de análise a utilizar, assim como a conveniência ou não de continuar o processo de refinamento das soluções. Em conclusão, um aspecto fundamental deste tipo de sistemas é a possibilidade de ajustar os parâmetros do problema ou da solução em forma interativa, e de acentuar a análise naquelas seções especialmente críticas [Nie94]. O processo de tomada de decisões consta dos seguintes passos [DG90]:

1. Definição do problema.
2. Identificação dos objetivos e determinação de prioridades para eles.
3. Seleção de modelos para gerar informação de acordo com a qual será realizada a análise das alternativas.
4. Coleta de dados para gerar soluções alternativas.
5. Execução dos modelos selecionados.
6. Estabelecimento de preferências para as alternativas e escolha de uma delas.
7. Análise da sensibilidade da solução às mudanças, erros e imprecisões.
8. Documentação do processo de tomada da decisão (descrição de como ela foi atingida).

A metodologia de desenvolvimento de aplicações em SIG, descrita na seção 2.3, está calcada em uma seqüência semelhante de passos.

2.2.2 Arquitetura Básica de um DSS

Embora cada tipo de DSS tenha características específicas, é possível identificar componentes básicos encontrados em todos eles. Como ilustra a figura 2.1, adaptada das figuras apresentadas em [WRHS89], uma maneira útil de enxergar a arquitetura de um DSS é através do paradigma “Diálogo, Dados e Modelos” (DDM): há um *diálogo* entre o usuário e o sistema, *modelos* para prover capacidades de análise, e *dados* suportando-os. A interface interage com um SGBD (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados) e com um SGBM (Sistema de Gerenciamento de Banco de Modelos). O SGBD gerencia os dados internos, externos e as estimativas utilizadas nos passos 6 e 7 do processo de tomada de decisão; e o SGBM permite o acesso a modelos estratégicos, táticos, operacionais e a blocos básicos para a construção de novos modelos, servindo de base ao passo 3 do processo decisório.

Interface Sob a perspectiva do usuário, a componente interface (diálogo) representa “o sistema”. Devido a isto, é preciso dedicar à interface grande parte do esforço do projeto e desenvolvimento do sistema. Os três componentes básicos de uma interface modular padrão são [Oli97]:

- **Apresentação.** É responsável pelas imagens exibidas na tela e o tratamento de eventos produzidos por ações dos usuários sobre dispositivos de entrada.

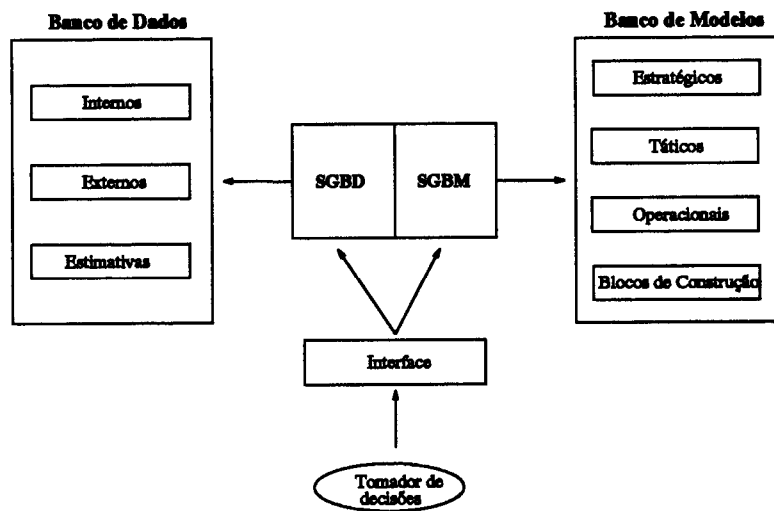


Figura 2.1: Arquitetura de um DSS

- **Controle de Diálogo.** Examina a seqüência de pedidos e dados fornecidos pelos usuários provida pela apresentação, e decide a ação a ser tomada.
- **Interface com a Aplicação.** Especifica os dados manipulados e as rotinas de comunicação a serem utilizadas entre a interface e a aplicação.

Dados Um DSS utiliza diferentes tipos de dados: internos (próprios da aplicação), externos (dados econômicos, de políticas nacionais e internacionais, da concorrência), e estimativas subjetivas do tomador de decisões (prioridades e preferências). Estes dados podem ser consultados pelos usuários ou inseridos junto aos modelos para serem processados. O SGBD deve permitir combinar diferentes fontes de dados, apresentar os dados para que os usuários possam entendê-los, identificar aqueles faltantes ou que não são de seu interesse, e oferecer ferramentas para manipular opiniões ou hipóteses.

Modelos Os modelos provêm as capacidades de análise necessárias em um DSS. Existem diferentes tipos de modelos, dependendo de seu propósito, o tratamento de parâmetros aleatórios, a generalidade de aplicação e a sua estrutura.

Primeiramente, os modelos podem ser de *otimização*, cujo objetivo é identificar pontos máximos e mínimos, ou de *descrição*, que permitem descrever o comportamento de um sistema. Considerando o tratamento da aleatoriedade, os modelos podem se dividir em *probabilísticos* e *determinísticos*. Os primeiros capturam a natureza aleatória de um sistema. Os modelos determinísticos, por outro lado, usam estimativas únicas para as variáveis e geram valores de saída definidos. Embora estes últimos sejam mais simples, muitos dos modelos são probabilísticos, pois representam melhor a natureza dos proble-

mas. Segundo o terceiro parâmetro, os modelos podem ser de *propósito especial* ou de *propósito geral*. Embora os modelos de propósito especial sejam mais caros, descrevem com maior precisão as variáveis do problema.

Por último, um modelo pode ser *algorítmico*, ou seja, baseado em uma seqüência de ações totalmente especificada, ou *heurístico*, no qual se começa com um modelo básico que é refinado dependendo da análise dos resultados.

A base de modelos contém *modelos* estratégicos, táticos e operacionais, e *blocos de construção* básicos [RHS89] - vide figura 2.1. Os modelos *estratégicos* auxiliam na determinação de objetivos e dos recursos necessários para atingi-los. Os modelos *táticos* têm como objetivo auxiliar na atribuição em controle dos recursos (por exemplo planejamento de plantas e necessidade de trabalhadores em uma empresa). O objetivo principal dos modelos *operacionais* é apoiar as decisões de curto prazo (por exemplo, controle de inventário, seleção de média). Os blocos de construção têm diferentes funcionalidades (por exemplo, programação linear, análise de regressão, simulação), e podem ser combinados para gerar modelos mais complexos ou ser utilizados em forma separada como ferramentas *ad hoc* de apoio aos processos de decisão.

Uma maneira de implementar o banco de modelos é decompor os modelos em átomos [DG90] e representar estes átomos como folhas de uma árvore. Os níveis superiores guiam o tomador de decisões através dos caminhos de seu interesse, descartando os nós irrelevantes. Um modelo pode ser especificado como uma “fórmula” vinculando átomos e seqüências destes. Esta representação permite ao usuário criar seus próprios modelos.

Mittra menciona em [Mit86] uma outra classificação dos modelos de análise em modelos *matemáticos*, subdivididos em modelos de *otimização* e *estatísticos*; e modelos de *simulação*, os quais podem ser *discretos* ou *contínuos*.

Os modelos de otimização representam a realidade através de variáveis de decisão (a serem determinadas na solução do modelo), equações e/ou inequações (restrições) e a função a ser otimizada. Estes modelos envolvem um compromisso entre os valores das variáveis e muitas vezes são resolvidos usando programação linear; exemplos são os modelos de inventário e de filas.

Os modelos estatísticos podem ser quantitativos ou qualitativos; neles não existem compromissos entre os objetivos. Os modelos quantitativos definem um conjunto de parâmetros e equações que permitem determinar os valores dos parâmetros. As predições quantitativas baseiam-se em dados históricos, o que não é apropriado no caso em que o futuro não seja uma “réplica” do passado; neste caso são realizadas predições qualitativas.

Devido às limitações dos modelos matemáticos para modelar situações complexas, ou aquelas nas quais não existem soluções explícitas, [Mit86] considera também modelos de simulação, os quais estimam a saída de um evento ou predizem o impacto de um curso de ação quando o problema não pode ser modelado por funções explícitas.

Alguns dos problemas que o SGBM procura solucionar são a integração e atualização dos modelos, a coleta dos dados de entrada, e a interpretação dos resultados.

2.2.3 Sistemas Espaciais de Apoio ao Processo Decisório

Um *Sistema Espacial de Apoio ao Processo Decisório* (*Spatial Decision Support System* - *SDSS*) tem por objetivo oferecer ao usuário um ambiente flexível para a tomada de decisões, em um contexto em que a dimensão espacial é fundamental para a análise das decisões.

Como visto na seção anterior, existem muitas técnicas analíticas para colaborar com o processo de decisão; todas elas requerem uma definição precisa do problema a resolver e dos objetivos da solução a ser alcançada. No domínio do geoprocessamento, no entanto, não é possível prever com precisão todos os parâmetros que definem um problema nem os objetivos da solução. Por esta razão, a maioria dos problemas que enfrenta um especialista desta área estão apenas semi-especificados. As técnicas analíticas são inadequadas neste domínio devido à impossibilidade de captar todas as dimensões dos problemas espaciais [Den91].

Embora os SIG representem um grande avanço na área, facilitando muitas das tarefas antes realizadas manualmente, ainda não dispõem de suporte a procedimentos de análise e a processos de tomada de decisões complexos. Em especial, não dispõem de ferramentas para o re-aproveitamento dos processos de análise já realizados, nem de documentação das tarefas realizadas (passo 8 do processo decisório descrito na seção anterior).

Embora modelos puramente analíticos não sejam úteis neste caso, eles podem ser utilizados como blocos integrantes de uma metodologia global de busca de soluções. O uso adequado dos modelos exige conhecimento sobre a sensibilidade às mudanças nos parâmetros, à uniformidade espacial, e à qualidade dos dados.

Em particular, existe toda uma gama de modelos a serem utilizados que levam em consideração, por exemplo, fatores de localização geográfica, relacionamentos topológicos, métricos e de direção. Estes modelos também podem ser enquadrados em uma das duas classificações anteriormente discutidas, mas a dimensão espacial, especialmente quando associada ao fator temporal, complica bastante a formulação e a execução do modelo.

Em [DG90] é apresentada a arquitetura de um SDSS (análoga à arquitetura descrita para um DSS genérico), composta por quatro módulos básicos: SGBD, modelagem analítica, relatórios (gráficos e tabulares) e interface do usuário. No caso específico de um SDSS, o SGBD deve incorporar facilidades para o gerenciamento de dados geográficos e a exploração de relações espaciais entre os dados em distintas escalas e níveis de agregação. A existência de uma interface com alta capacidade gráfica é fundamental devido à natureza dos dados; além de texto, esta deve permitir apresentar mapas e representações em

duas e três dimensões. Ferramentas para a geração de relatórios também são necessárias neste contexto.

Um SDSS, como ocorre com os outros tipos de DSS, é usado por distintos tipos de usuários, tais como executivos, administradores e especialistas técnicos, os quais têm diferentes objetivos a serem atingidos. A questão dos fatores cognitivos na implementação de um SDSS requer um estudo de como os diferentes tomadores de decisões percebem os dados e os modelos espaciais.

Considerações de tempo são comuns a todos os tipos de tomada de decisão. Além disso, a tomada de decisão em sistemas espaciais envolve outros fatores, em especial a região geográfica de estudo. A determinação exata desta região é de vital importância, pois a falta de avaliação de algum dos fatores envolvidos pode conduzir ao fracasso da solução.

2.2.4 Avaliação sob Múltiplos Critérios e Aplicações Geográficas

Um SIG oferece ao tomador de decisões um conjunto de ferramentas para manipular e analisar dados espaciais, mas não permite representar critérios de escolha e prioridades no contexto da avaliação de objetivos em conflito [HOT94]. Devido a esta situação, os SIG se apresentam como ambientes de modelagem estática, sem responder às necessidades de um SDSS. Para contornar estas falhas, vários autores sugerem incorporar aos SIG ferramentas que permitam analisar a importância relativa dos diferentes critérios envolvidos na tomada de uma decisão na presença de objetivos distintos [Jan95, HOT94, LCM96]. Este tipo de processamento é chamado Avaliação sob Múltiplos Critérios (*Multi Criteria Evaluation - MCE*). Desta forma, um SDSS passa a ser um SIG aumentado com uma “caixa preta” de técnicas de múltiplos critérios.

Trabalhos tradicionais sobre DSS [RHSW89, Mit86] estão baseados em modelos que representam a realidade através de um único critério, geralmente funções de custo ou distância que devem ser otimizadas. Porém, na maioria das vezes, os problemas de decisão (em especial no contexto espacial) consideram realidades mais complexas que não podem ser analisadas através de um único critério. As técnicas de análise sob múltiplos critérios podem ser utilizadas para prover uma ou mais soluções satisfatórias representando compromissos entre objetivos e entre critérios, embora não sejam necessariamente soluções ótimas, objetivas e únicas [LCM96]. Esta seção fornece uma visão geral de conceitos básicos sobre múltiplos critérios.

Conceitos Gerais

O objetivo das técnicas de Tomada de Decisões sob Múltiplos Critérios (*Multiple Criteria Decision Making - MCDM*) é auxiliar o tomador de decisões na seleção da “melhor” alter-

nativa dentre o conjunto de alternativas factíveis sob a presença de múltiplos critérios de escolha e diversas prioridades para esses critérios [Jan95]. Estas técnicas podem ser utilizadas no domínio do geoprocessamento para resolver problemas de busca e de atribuição de recursos. Um exemplo é a seleção de áreas para um determinado tipo de cultivo em uma região.

O termo MCDM abriga duas categorias de técnicas para a tomada de decisões: técnicas de Tomada de Decisões sob Múltiplos Objetivos (*Multiple Objective Decision Making - MODM*), que consistem em encontrar uma solução em um espaço de soluções factíveis limitado por um conjunto de restrições; e técnicas de Tomada de Decisões sob Múltiplos Atributos (*Multiple Attribute Decision Making - MADM*) [Jan95]. Em [LCM96] estas técnicas são classificadas como *discretas* e *contínuas*. As primeiras correspondem às técnicas MADM, as quais partem do pressuposto que os problemas oferecem um número finito e moderado de alternativas. As técnicas contínuas correspondem à categoria MODM, as quais consideram um número grande, possivelmente infinito, de alternativas, nem sempre explicitamente definidas ou conhecidas, senão estabelecidas através de restrições explícitas. De agora em diante apenas técnicas MADM são consideradas.

O modelo geral das técnicas multicritério MADM [HOT94, Jan95] utiliza os passos seguintes:

1. Definição do problema: surge a partir da necessidade de tomar uma decisão, dado como ponto de partida o estado atual, para atingir o estado desejado.
2. Busca por alternativas e seleção de critérios para avaliá-las: inclui a tarefa de normalizar os valores dos critérios devido à mistura de dados qualitativos e quantitativos.
3. Avaliação das alternativas: a prioridade de cada critério é determinada, junto com o impacto de cada alternativa sob os critérios.
4. Tomada de uma decisão: as alternativas são ordenadas e a melhor delas é escolhida como a solução, ou um grupo com as melhores alternativas é selecionado para continuar o processo de avaliação (redução do conjunto de alternativas).

A ponderação qualitativa ou quantitativa dos critérios permite indicar sua importância relativa para o cumprimento dos objetivos estabelecidos. A técnica mais utilizada pelos tomadores de decisões é a atribuição de prioridades informais aos critérios, pois assim evitam a manipulação de métodos estatísticos complexos e têm um melhor entendimento de como as mudanças influenciam uma decisão.

Existem diversas estratégias para ordenar e reduzir o conjunto de alternativas. As técnicas de *processamento simplificado* consistem na atribuição de valores mínimos para os critérios, os quais devem ser superados pelos valores dos critérios relacionados a uma

alternativa para que esta não seja eliminada. Os valores mínimos podem ser ajustados até se obter o conjunto de decisões desejadas (possivelmente apenas uma). As estratégias de *processamento total*, por outro lado, introduzem as preferências do tomador de decisões na análise das alternativas. Estas preferências podem estar relacionadas tanto aos critérios quanto ao desempenho das alternativas em cada critério. Este processo requer maior esforço do tomador de decisões, pois deve quantificar suas preferências através de compromissos entre os critérios.

Decisões podem ser tomadas em função de um ou múltiplos objetivos. Neste último caso, pode existir um conjunto de critérios diferente para cada objetivo. Estes critérios podem ser igualmente importantes para todos os objetivos, ter pesos diferentes para distintos objetivos ou estar em conflito. Desta forma, a avaliação de decisões com múltiplos objetivos apresenta um grau de complexidade consideravelmente maior [HOT94].

Modelo Geral das Técnicas MCDM

Como ilustra o esquema na figura 2.2, o primeiro passo do modelo geral das técnicas multicritério MADM é gerar um conjunto discreto de alternativas e estabelecer um conjunto de critérios. O impacto de cada alternativa sobre cada critério, chamado *valor do critério* (para uma alternativa), é colocado em uma matriz C , onde o elemento c_{ji} representa o valor do critério j para a alternativa i . Os valores dos critérios podem ter sido previamente normalizados.

As preferências do tomador de decisões e os valores dos critérios são processados com a ajuda de funções de agregação, podendo se obter a recomendação de uma alternativa, várias “boas” soluções ou uma lista de alternativas ordenadas segundo sua adequação para resolver o problema.

O passo de análise de sensibilidade das recomendações obtidas é necessário para determinar problemas de imprecisão e incerteza. Neste passo, as alternativas podem ser cotejadas duas a duas ou todas simultaneamente.

Uma Classificação das Técnicas MADM

Uma classificação possível das técnicas MADM toma em consideração dois parâmetros: o nível de processamento cognitivo requerido do tomador de decisões, e a maneira como são combinados os valores e as prioridades dos critérios [Jan95]. Tomando em consideração o primeiro parâmetro, podem ser distinguidas duas classes de técnicas: *Compensatórias* e *Não Compensatórias*.

Técnicas Compensatórias As técnicas Compensatórias fundamentam-se na hipótese que o alto desempenho de uma alternativa relativo a um ou mais critérios pode compensar

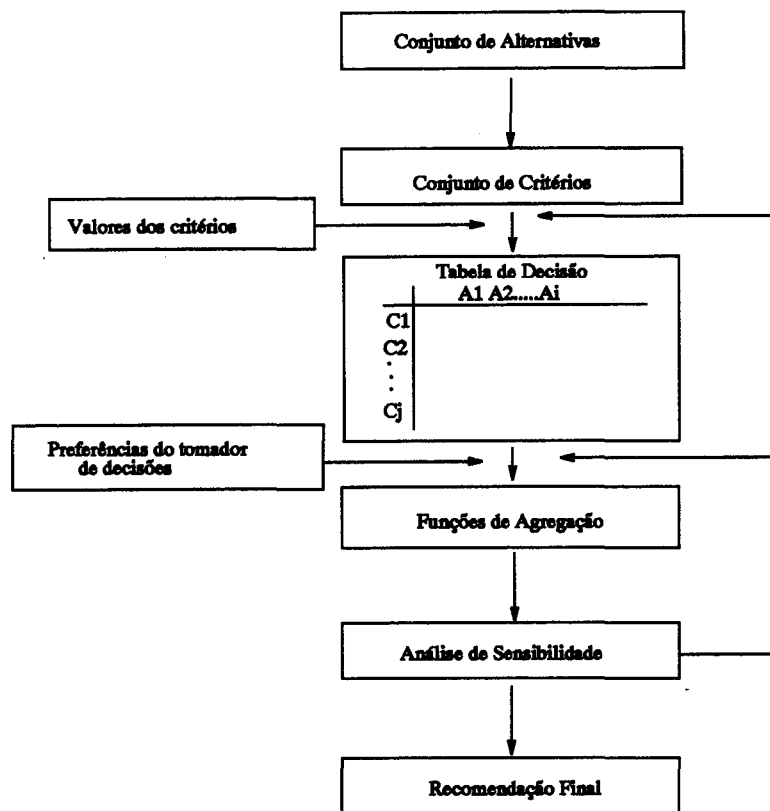


Figura 2.2: Modelo Geral das Técnicas MCDM.

o baixo desempenho da mesma alternativa sobre outros critérios. Os compromissos entre estes desempenhos são estabelecidos de acordo com as prioridades dos critérios definidas pelo tomador de decisões.

Técnicas Não Compensatórias As técnicas Não Compensatórias comparam as alternativas sem realizar compromissos entre os critérios. O valor desfavorável de uma alternativa para um critério não pode ser compensado com o bom desempenho da alternativa relativo a um outro critério.

A desvantagem destas técnicas reside na potencial recomendação de uma alternativa “inferior” devido a um processamento simplificado. Porém, apresentam uma solução para os tomadores de decisões que não desejam ou não podem expressar suas preferências.

Jankowski descreve em [Jan95] como foram utilizadas algumas destas técnicas na seleção de uma rota de transmissão para uma nova seção em uma rede pública de água. Alguns dos critérios utilizados foram a longitude e o custo total estimado para cada rota alternativa, o volume normal de tráfego diário, e as áreas de erosão e deslizamento.

Problemas a considerar na Avaliação sob Múltiplos Critérios

Em [HOT94] são discutidos os problemas que surgem do uso de técnicas de avaliação sob múltiplos critérios e que podem influenciar a qualidade das decisões recomendadas:

- **Imprecisão no método:** podem ser introduzidas imprecisões na definição das prioridades atribuídas aos critérios, na interação entre critérios ou na escolha errada de uma técnica.
- **Imprecisão na definição do problema:** pode acontecer que nem todos os critérios tenham sido considerados, e que os critérios estabelecidos não reflitam os objetivos ou sejam irrelevantes para o problema.
- **Imprecisão dos dados:** podem existir imprecisões na coleta e entrada dos dados ao sistema.
- **Acessibilidade:** o entendimento profundo dos métodos pode requerer conhecimento matemático que nem todos os tomadores de decisões possuem.

Um ambiente incorporando técnicas multicritério deve permitir ao tomador de decisões avaliar a influência de cada um destes tipos de problema na decisão escolhida. Existem diferentes procedimentos para enfrentar a imprecisão no método: certas técnicas registram o número de vezes que uma escolha é realizada ao utilizar um conjunto de técnicas de MCE, enquanto outras permitem investigar a sensibilidade da solução às mudanças nas prioridades dos critérios através de simulações.

Um Ambiente para a Avaliação sob Múltiplos Critérios

Existem poucas referências na literatura da aplicação de técnicas multicritério no contexto de DSS, embora seu uso de forma isolada seja bastante encontrado. No caso de SDSS, esta carência de referências é ainda mais marcante.

Em [HOT94] é especificado um ambiente de apoio às decisões para dados espaciais que incorpora diferentes técnicas MCDM. O ambiente permite ao tomador de decisões definir um problema, gerar o espaço de alternativas e estudar a validade das opções de solução através de técnicas de análise de sensibilidade. Estas atividades são executadas através de ferramentas gráficas que permitem construir cenários de decisão com “ícones” representando os distintos tipos de informação, e visualizar os efeitos das mudanças nos parâmetros do processo de tomada da decisão.

Em primeiro lugar, é necessário fornecer ao sistema os critérios que podem influenciar a decisão. A cada critério é atribuído um “ícone” refletindo o tipo de dado representado (por exemplo mapa). A cada ícone é associada informação sobre a genealogia do dado: como

ele foi gerado, sua idade, a existência de um grau de imprecisão associado a ele, dentre outras. Esta informação visa auxiliar o tomador de decisões a analisar informalmente a importância do dado no cenário sendo estudado. Além disso, o tomador de decisões pode navegar através dos critérios disponíveis e agrupar aqueles de seu interesse.

Em um segundo passo, o sistema auxilia o tomador de decisões a escolher as técnicas a serem utilizadas. A escolha é feita em função dos requisitos do problema, da etapa no processo de tomada de decisões e do usuário. O ambiente permite visualizar uma opção de decisão enquanto os pesos e custos associados aos critérios são mudados, ajudando assim no entendimento de como estas alterações afetam a decisão.

2.3 Metodologia de Desenvolvimento de Aplicações Ambientais

Qualquer trabalho voltado a sistemas de apoio ao processo decisório precisa ajudar o usuário dentro de seu contexto e procedimentos de trabalho. A dissertação se baseia, para isto, na metodologia proposta por [Pir97], que especifica os procedimentos executados pelo usuário ao desenvolver tarefas sobre um SIG. Esta metodologia foi determinada a partir do acompanhamento das atividades dos especialistas na área ambiental. A importância da especificação de uma metodologia está dada na maior facilidade para definir um ambiente de trabalho e garantir a usabilidade do ambiente.

É importante ressaltar que cada região geográfica pode necessitar de uma estratégia diferente, embora se trate do mesmo tipo de aplicação geográfica[Pir97]. Por exemplo, o desenvolvimento de mapas para determinar a aptidão agrícola das terras em uma região montanhosa e com alto índice pluviométrico difere do procedimento usado para uma região plana e desértica. Os métodos empregados dependem das características da aplicação, os objetivos, a área de estudo e o perfil da equipe técnica. Muitas das estratégias são apenas heurísticas limitadas pelos dados disponíveis, a abordagem do usuário e as restrições impostas pelo SIG subjacente.

A metodologia consiste de quatro etapas básicas: planejamento, inventário, desenvolvimento e avaliação. Estas etapas representam de forma abstrata os passos executados pelos usuários. Além disso, reproduzem em um nível mais abstrato os passos do processo decisório descritos na seção 2.2.

A figura 2.3 (reproduzida de [Pir97]) apresenta estas etapas e as relações entre elas.

Planejamento A etapa de planejamento envolve a definição dos objetivos da aplicação, da área de estudo e da estratégia metodológica (que corresponde basicamente à definição dos dados e algoritmos a serem implementados no SIG). Esta etapa cobre os passos 1,2

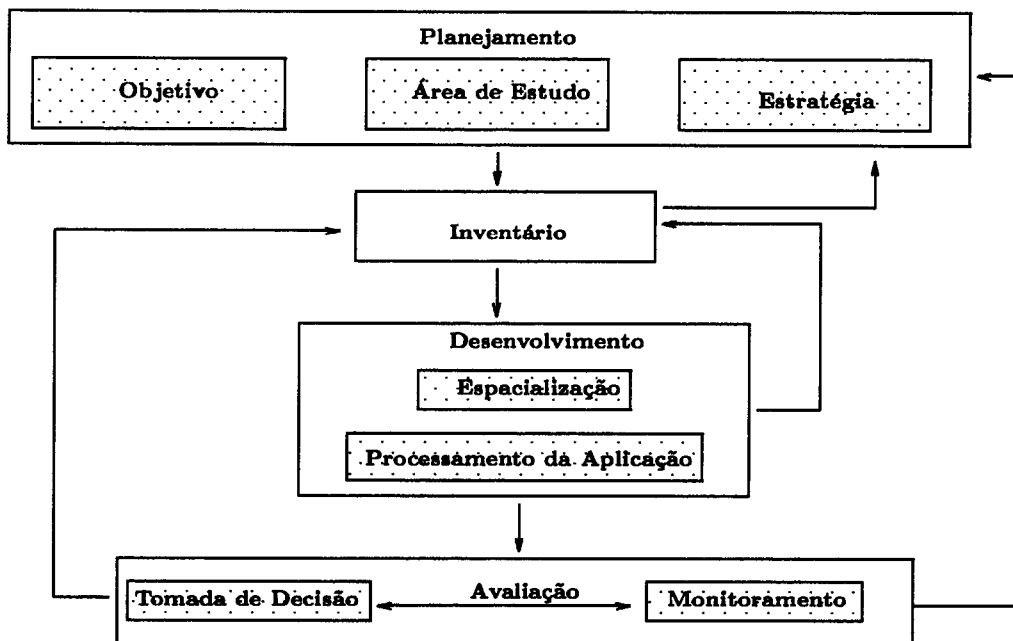


Figura 2.3: Metodologia de Desenvolvimento de Aplicações Ambientais

e 3 do processo decisório. A área de estudo é definida através da extensão geográfica e caracterizada sob aspectos políticos, econômicos, sociais e geográficos.

A escolha da estratégia metodológica depende dos objetivos e a área de estudo. Está baseada em métodos específicos do domínio da aplicação e direciona a determinação das variáveis (fatores), a escolha da escala dos dados, a forma de classificação e ponderação das variáveis em ordem de importância, a forma de estudo das interações entre esses fatores, e o intervalo de tempo de coleta dos dados.

Inventário A etapa de inventário se refere ao passo 4 do processo decisório e consiste na definição e coleta dos dados. Envolve a seleção dos fatores, a escala, precisão e nível de detalhe, e a coleta de dados através de mapas topográficos, fotografias aéreas, imagens de satélite ou trabalhos de campo.

Dependendo da qualidade dos dados coletados, pode-se voltar à etapa prévia para revisar as variáveis e suas ponderações. As fontes de dados devem ser homogenizadas em termos de escala, tipo dos dados e incompatibilidades temporais.

Desenvolvimento A etapa de desenvolvimento (passos 5 e 6 do processo decisório) corresponde à implementação dos algoritmos usando os dados armazenados na fase de

inventário. Esta etapa compreende a espacialização dos dados e o processamento da aplicação. A primeira operação consiste no geo-referenciamento dos dados e no seu armazenamento no banco de dados do SIG.

As atividades correspondentes ao processamento da aplicação dependem da estratégia metodológica adotada. Algumas das atividades são a transformação dos dados para o modelo de dados do SIG subjacente, a derivação de planos de informação, a atribuição de pesos aos planos de informação e a cada elemento neles, e simulações do modelo adotado através de variações nos parâmetros e verificações dos resultados em campo. Testes são realizados para avaliar a qualidade dos dados e a validade do modelo especificado.

Avaliação A etapa de avaliação (passo 7 do processo decisório) inclui a análise dos resultados por parte do especialista. As fases desta etapa são a tomada de decisão e a especificação de políticas, e o monitoramento da aplicação das políticas para comparar os resultados com os previstos pela aplicação.

A tomada de decisão consiste em estudar os diferentes resultados obtidos pela aplicação para escolher possíveis soluções, que são traduzidas em diretrizes a serem tomadas. A especificação de políticas é geralmente adotada em planejamento e controle ambiental.

A metodologia é descrita com maior detalhe em [Pir97], onde é apresentado também um exemplo extensivo de seu uso.

2.4 Resumo

O capítulo apresentou Sistemas de Informação Geográfica, Sistemas de Apoio ao Processo Decisório e uma metodologia de desenvolvimento de aplicações geográficas, conceitos básicos para o entendimento da dissertação. Como se verá a seguir, o sistema implementado - WOODSS - combina a noção de *workflows* à metodologia de aplicações geográficas para permitir complementar o processo decisório.

O próximo capítulo apresenta as noções de *workflow* e de *workflow* científico em particular, que servem de base para o WOODSS.

Capítulo 3

Sistemas de *Workflows*

O WOODSS é centrado na noção de *workflows* científicos. Este capítulo descreve noções básicas sobre Sistemas de *Workflows* e suas características nos ambientes de trabalho científicos.

3.1 Noções Básicas

Um *workflow* pode ser definido como uma seqüência de passos necessários para atingir um determinado objetivo. Cada passo deste processo é chamado *atividade ou tarefa*, e pode ser executado por um ou mais agentes. Um *agente ou executor* é uma pessoa ou componente de software capaz de executar uma ou mais destas tarefas. Através de um *papel* é possível descrever um determinado (tipo de) agente de acordo com um conjunto pré-estabelecido de habilidades ou conhecimento de contexto necessários à execução de uma tarefa [Bar96]. Um *workflow* *particular* é uma seqüência de passos que forma parte de um *workflow* maior.

O objetivo de um *Sistema de Workflows* é auxiliar na especificação, execução, monitoramento e coordenação de um fluxo de trabalho. Um Sistema de Gerenciamento de *Workflows* (*WorkFlow Management System - WFMS*) é o software que permite especificar e executar *workflows* [Coa96]. Os Sistemas de *Workflows* tradicionais geralmente estabelecem uma separação clara entre as etapas de modelagem e de execução.

A etapa de modelagem consiste em desenvolver a *especificação* de um *workflow* (chamado *modelo* na literatura correlata), a qual é uma descrição das atividades, das dependências entre estas atividades e dos agentes habilitados para executá-las. Normalmente, convivem nas especificações atividades automáticas (executadas por uma componente de software) e manuais (realizadas por uma pessoa). Uma maneira de apresentar a especificação de um *workflow* é através de um grafo, no qual os nós representam atividades, etiquetas associadas correspondem aos agentes e as arestas às dependências entre as atividades.

Uma dependência entre duas atividades pode ser de dados (ou valores), temporal ou de execução [RS95]. Um exemplo de dependência de dados é o caso de uma atividade precisar dos dados gerados por uma atividade prévia para começar sua execução. Existe uma dependência temporal entre duas atividades quando, por exemplo, a segunda atividade deve ser executada alguns dias depois da primeira atividade. Por último, um exemplo de dependência de execução é o caso de uma atividade que deve ser interrompida se uma outra atividade terminar.

A etapa de execução consiste na criação e execução de *instâncias* de *workflows*¹ segundo o indicado na especificação. Nesta etapa, o Sistema de *Workflows* deve gerenciar o planejamento das tarefas e verificar as restrições de transição entre atividades. Basicamente, deve escolher uma atividade (instância de atividade) em condições de ser executada e um agente habilitado para sua execução, e solicitar-lhe a realização da atividade. Tarefas que não estão associadas através de dependências podem ser executadas em paralelo.

Durante a execução de uma instância de *workflow* pode ocorrer uma *contingência* ou *exceção* (evento não previsto na especificação). Exemplos destas situações são informação errônea ou incompleta ao executar uma tarefa, acontecimentos externos, falhas ou ausência de agentes, dentre outras.

Devemos notar que a divisão tradicional estrita entre modelagem e execução é inviável na prática devido aos diferentes tipos de processos, aos casos especiais e à evolução da realidade externa. Barthelmess menciona em [Bar96] a importância de permitir a resolução de problemas em situações não rotineiras, para as quais não existe um processo bem definido. Nestas situações, o planejamento constitui talvez a etapa mais importante do trabalho, feito normalmente à medida que o caso evolui, e não de forma antecipada, tal como pressupõem os Sistemas de *Workflows* tradicionais. Esta observação é especialmente aplicável no domínio de geoprocessamento, dado que os usuários muitas vezes não conhecem a seqüência completa de passos que os levará a uma solução, e por isso decidem seu próximo passo depois de analisar os resultados obtidos em passos prévios.

3.2 *Workflows* Científicos

Embora o conceito de *workflow* tenha surgido no contexto empresarial com o objetivo de representar o fluxo de informação e as tarefas realizadas pelos membros de uma organização, *workflows* são atualmente aplicados em outros domínios, como por exemplo, na área de geoprocessamento [MVW96a, WVM98].

A tomada de decisões nesta área pode ser descrita usando o paradigma de *workflows*. De fato, o processo de tomada de decisões é especificado como uma seqüência de passos

¹Em [Bar96] a instância de um *workflow* também é chamada *caso*.

a ser executada pelo usuário. Cada passo especifica a informação de entrada e de saída (dados, condições de execução, dispositivos a usar, dentre outros), e está relacionado a outros passos através de diferentes tipos de condições.

Esta especificação em alto nível dos procedimentos dos usuários de SIG reflete a metodologia de [Pir97] descrita no capítulo 2. Não se trata, no entanto, de uma sequência linear de atividades nem tampouco de procedimentos que podem ser descritos por sistemas de *workflow* padrão. Em [WVM96, WWVM96], as peculiaridades destes *workflows* são definidas com base nos seguintes aspectos:

- **Domínio.** Nos *workflows* tradicionais, o domínio do problema é bem entendido e os processos para tratá-lo estão bem definidos. Assim, *workflows* podem ser completamente especificados antes de iniciar sua execução, geralmente rotineira. Em ambientes como o de geoprocessamento, o objetivo é alcançar um melhor entendimento de um domínio; existem situações menos estruturadas, o que ocasiona que a sequência completa de atividades seja constituída à medida que o *workflow* é executado.
- **Parcialidade.** Como os passos do processo decisório não são muitas vezes totalmente conhecidos antes de começar, o usuário decide como continuar a execução de um *workflow* ao executá-lo e avaliar os resultados produzidos por ele. Neste contexto, não é preciso especificar o plano completo, sendo apenas necessário informar ao final de cada etapa qual é a próxima atividade a ser executada e o tipo de agente habilitado para fazê-lo. Esta característica está ausente nos WFMS tradicionais.
- **Re-uso.** O re-uso de *workflows* nos WFMS tradicionais consiste em ler o arquivo da especificação do *workflow* para sua execução. Já no caso de *workflows* científicos, este termo é mais abrangente, pois considera o re-uso de *workflows* parciais para especificar outros *workflows*.
- **Aprendizagem a partir dos erros.** Em geral, os processos decisórios estão baseados no mecanismo de tentativa-e-erro, sendo portanto importante registrar os casos com e sem sucesso.
- **Retrocessos.** No caso de *workflows* científicos, não é apenas desejável re-fazer uma tarefa, senão retroceder até um passo prévio, re-estabelecer o contexto anterior à realização de alguma atividade e continuar a execução através de um outro curso de ação, como por exemplo, trocar uma função de análise utilizada por uma outra diferente.

A existência destas divergências motiva o desenvolvimento de Sistemas de *Workflows* mais flexíveis, que permitam a modificação dinâmica das especificações de maneira fácil

e rápida, assim como mecanismos para armazenar e tornar disponíveis os *workflows* (ou partes deles) para a construção de novos *workflows* a partir dos existentes. Isto torna necessário abandonar a divisão clássica existente entre modelagem e execução, já que neste contexto ambas estão integradas [Bar96].

3.3 Uso de *Workflows* na Documentação de Atividades em um SIG

A interação do usuário com um SIG para a geração de mapas como parte do processo decisório consiste em uma seqüência de etapas que pode ser descrita de forma adequada através de um *workflow*. Os *workflows* combinam a visão orientada aos dados das aplicações com a visão orientada aos processos, permitindo modelar atividades, interações e intercâmbios de dados. Esta constatação serviu como base para a utilização de *workflows* no WOODSS.

A geração de mapas em um SIG consiste de uma seqüência de atividades, com uma ordem parcial de execução. Atividades estão interligadas nesta seqüência por fluxos de dados e controle. Algumas das atividades são realizadas de forma manual, e outras por sistemas de *software* (em particular SIG). O resultado de uma etapa pode determinar a re-execução de um passo prévio com algumas mudanças. A figura 3.1 apresenta um *workflow* de alto nível que descreve estas etapas e reflete a metodologia de desenvolvimento de aplicações geográficas descrita na seção 2.3.

Estas etapas contêm um forte componente empírico. Em muitos casos, não estão pré-definidas desde o início da execução, mas são especificadas à medida em que se desenvolver o processo decisório. Em particular, a etapa de *desenvolvimento* é altamente dependente do especialista e do SIG usado. Ressalte-se que as atividades podem ser refinadas em vários níveis de abstração. Um mesmo *workflow* em alto nível pode especificar tarefas que podem ser executadas em diferentes SIG, sendo posteriormente especializadas para cada SIG conforme as funções próprias de cada um.

O SIG GRASS [Arm], por exemplo, define algumas dezenas de operações para combinar dados matriciais e apenas uma dezena para dados vetoriais, enquanto no SIG VISION* [SHL97] ocorre o oposto. Além disso, as funções de cada SIG estão definidas em função da estrutura interna dos dados, própria de cada um. Desta forma, uma mesma atividade em alto nível pode resultar em uma seqüência diferente de atividades, conforme o SIG alvo.

O seguinte exemplo ilustra a etapa de análise espacial para um problema específico, mostrando como a fase de implementação pode ser refinada em seqüências de atividades diferentes dependendo do SIG usado.

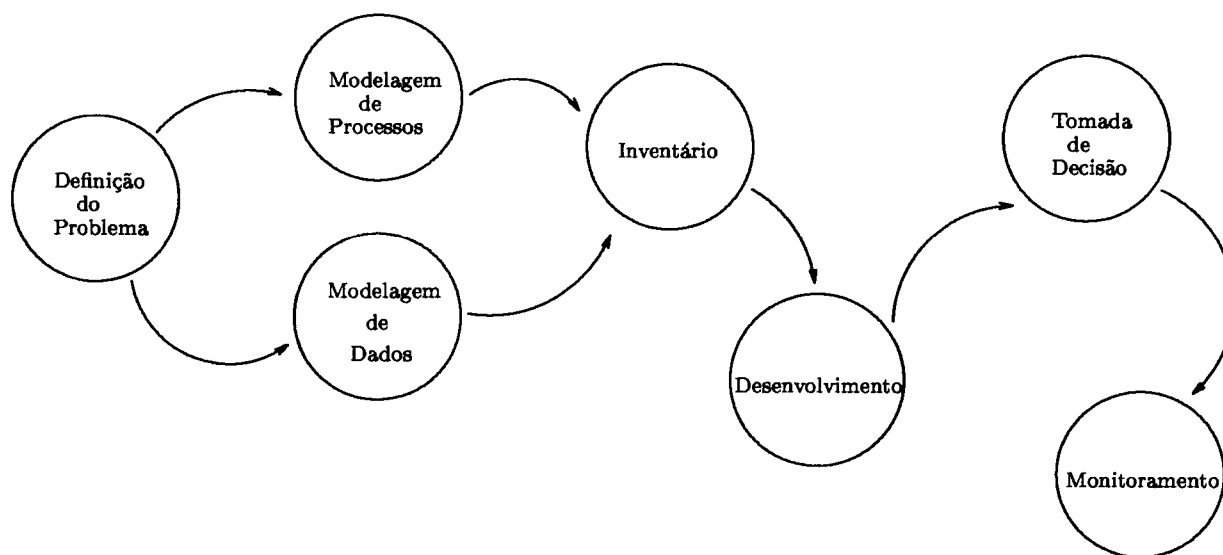


Figura 3.1: *Workflow* de Alto Nível correspondente às Etapas da Metodologia

Exemplo 3.1

Considere-se o problema de decisão consistindo de encontrar uma área adequada para a instalação de uma fazenda leiteira no estado de São Paulo. A área escolhida deve satisfazer os três critérios seguintes:

- (a) estar a uma distância mínima de 200 metros de um rio;
- (b) estar no máximo a 300 metros de linhas de energia; e
- (c) corresponder a uma zona de pastagens.

Os mapas de uso do solo, rede hídrica e rede de energia são considerados dados de entrada. No SIG IDRISI [Eas97b, Eas97a], este problema pode ser resolvido através dos seguintes passos, correspondentes aos critérios mencionados:

- (a) Calcular, usando o módulo *Distance*, a distância de cada ponto da região ao rio mais próximo, e re-classificar (usando o módulo *Reclass*) o mapa resultante para obter as áreas a uma distância maior de 200 metros de um rio².

²A interface do IDRISI permite invocar o módulo *Buffer*, que é implementado aplicando o módulo *Distance*, seguido do módulo *Reclass*.

- (b) Calcular a distância de cada ponto geográfico na região às linhas de energia, e reclassificar o mapa resultante para obter as áreas que se encontram no máximo a 300 metros de alguma destas linhas (usando os módulos *Distance* e *Reclass* respectivamente).
- (c) Classificar, aplicando o módulo *Reclass*, o mapa de uso do solo em áreas de pastagens e áreas com os demais usos.
- (d) Combinar através do módulo *Overlay* os três mapas resultantes das etapas anteriores em um único mapa, que mostra as áreas que satisfazem os critérios especificados.

No caso do SIG ARC/INFO [ESRI95], o mesmo problema pode ser resolvido da seguinte forma:

- (a) Excluir, usando o comando *Buffer*, as terras que estão a menos de 200 metros da rede hídrica.
- (b) Selecionar, utilizando o comando *Buffer*, as terras que se encontram a uma distância máxima de 300 metros da rede elétrica.
- (c) Combinar, usando o comando *Erase*, os dois mapas obtidos previamente.
- (d) Superpor, através do comando *Identity*, o mapa resultante do passo prévio com as terras de pastagens, obtendo um mapa que mostra as áreas que satisfazem os critérios especificados.

Este exemplo mostra como distintos SIG aplicam seqüências de passos diferentes para resolver o mesmo problema. Ressalte-se também que o SIG IDRISI está baseado no modelo de campos, enquanto o SIG ARC/INFO está baseado no modelo de objetos. □

Uma das etapas do processo decisório (descrito na seção 2.2.1) é a documentação da seqüência de atividades que conduz à tomada de uma decisão. Esta documentação permite repetir a execução de seqüências de passos, re-usando partes das especificações prévias para resolver experimentos similares. Como se verá no próximo capítulo, a possibilidade de descrever as atividades do usuário no SIG através de um *workflow* induz a noção de *workflow* como linguagem de especificação e documentação destas atividades. A noção de *workflow* científico permite, além disto, a especificação parcial de atividades (aqui chamado “*workflows* parciais”) e a possibilidade de interrupção, retrocesso ou abandono destas atividades.

Como um *workflow* é uma especificação de um conjunto de tarefas, seu uso na documentação de atividades permite a re-execução das mesmas acionando o *workflow*. Além

disto, esta documentação é paramétrica, ou seja, um mesmo *workflow* (modelo) pode ser executado repetidas vezes com parâmetros distintos. Do ponto de vista de planejamento agro-ambiental, isto significa realizar repetidas vezes o mesmo conjunto de atividades, adequando-as a diferentes condições de contexto.

3.4 **Resumo**

Este capítulo introduziu *workflows* em um contexto geral e especificou características dos *workflows* científicos no contexto de geoprocessamento. Por último, descreveu e apresentou um exemplo do uso de *workflows* na documentação das atividades realizadas em um SIG.

O próximo capítulo especifica o sistema WOODSS, que tem por objetivo documentar através de *workflows* a interação do usuário com o SIG como parte do processo decisório.

Capítulo 4

O Sistema WOODSS

Este capítulo descreve o Sistema Espacial de Apoio ao Processo Decisório WOODSS (*Work-flow-based spatial Decision Support System*), que tem por objetivo documentar os processos decisórios dos usuários em um contexto espacial e auxiliá-los na resolução de problemas similares. Para tal fim, monitora as atividades realizadas pelos usuários nos SIG e as documenta através de *workflows*.

Estes *workflows* podem ser consultados para prover os usuários com uma visão geral das operações que foram realizadas na resolução de um problema, servindo como guia para a resolução de problemas decisórios similares e como um mecanismo de re-execução automática de seqüências de passos análogos, com variações nos seus parâmetros.

A seção 4.1 discute o WOODSS sob a perspectiva da arquitetura de um DSS apresentada na seção 2.2. A seção 4.2 esboça como o usuário interage com o WOODSS. A seção 4.3 descreve a arquitetura interna do WOODSS e seus módulos. Por último, a seção 4.4 resume o capítulo.

4.1 O WOODSS sob a Perspectiva de um DSS

O WOODSS é um Sistema Espacial de Apoio ao Processo Decisório e pode, portanto, ser considerado sob a perspectiva da arquitetura genérica de um Sistema de Apoio ao Processo Decisório apresentada na seção 2.2. Esta arquitetura considera a interação de três componentes principais: Interface, Banco de Dados e Banco de Modelos. A figura 4.1 ilustra a adaptação da arquitetura (mostrada na figura 2.1) no contexto do WOODSS.

O Banco de Dados está formado por dados das aplicações do usuário, manipulados em um SIG, e por *workflows* científicos que usam estes dados. Estes *workflows* descrevem a parte do processo decisório relativa à confecção dos mapas em um SIG. O SGBD representa, na realidade, dois sistemas diferentes, um gerenciando o banco de dados da aplicação e o outro o banco de *workflows* gerado pelo WOODSS. De agora em diante, o

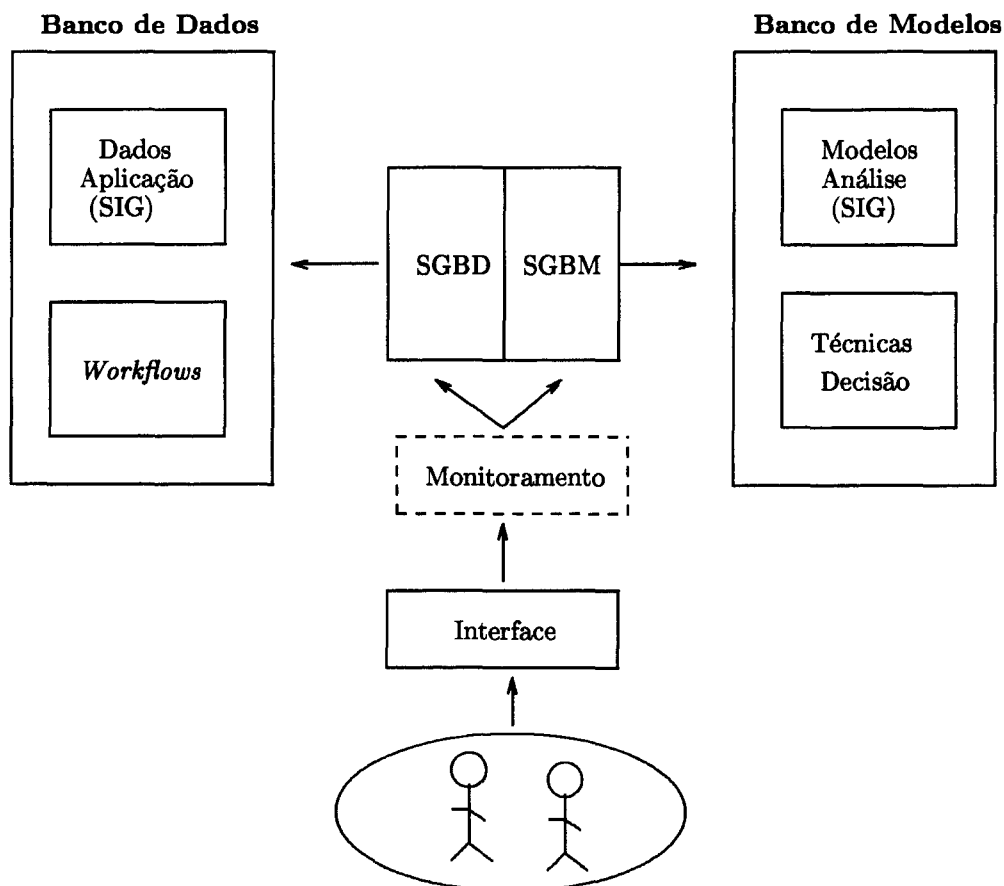


Figura 4.1: O WOODSS sob a Perspectiva de um DSS

texto diferenciá-los, quando necessário, o *Banco de Dados* (dados das aplicações) do *Banco de Workflows* (conjunto de *workflows* armazenados no Banco de Dados do DSS).

O Banco de Modelos está formado por modelos de análise e técnicas de decisão. Os modelos de análise são definidos a partir da combinação das funções do SIG (por exemplo, os diferentes módulos do SIG IDRISI), e as técnicas de decisão estão incluídas no SIG ou consistem na própria metodologia do usuário para a tomada de decisões.

O WOODSS não interfere na maneira com que os especialistas conduzem seus processos decisórios. Seu objetivo é ajudá-los a resolver os problemas sem modificar seus procedimentos, mas com o auxílio de ferramentas que possibilitam a resolução de problemas de forma mais eficiente. Para tal fim, o WOODSS insere uma camada de *monitoramento* que monitora a interação do usuário com os modelos de análise e com os dados. A informação monitorada é transformada em *workflows* e armazenada, e pode ser posteriormente usada no mesmo ou em outros processos decisórios.

4.2 Interação Usuário-SIG-WOODSS

Cada sessão de trabalho do usuário corresponde para o WOODSS à geração de um *workflow* distinto. Supõe-se que o principal usuário do WOODSS seja um especialista em algum domínio (por exemplo, em planejamento agro-ambiental) que também trabalha com o SIG. Usuários menos especializados poderão avaliar *workflows* existentes para ter uma visão geral do processo decisório. O usuário é o responsável por indicar o momento em que uma sessão é iniciada e quando esta deve ser terminada. Assim, o usuário determina, direta ou indiretamente, as atividades que formam parte do *workflow*. Sob este ponto de vista, um *workflow* pode ser composto de apenas um grafo (quando o usuário realiza apenas uma certa seqüência de atividades ordenadas parcialmente) ou como um conjunto de grafos (quando em uma mesma sessão o usuário desenvolve diferentes processos decisórios).

O WOODSS funciona acoplado a um SIG e oferece ao usuário três modalidades de interação: (1) o usuário pode ignorar o WOODSS e interagir com o SIG da maneira tradicional; (2) o usuário pode interagir apenas com o WOODSS ignorando o SIG; (3) o usuário pode alternar sua interação com o SIG e o WOODSS. Independente do tipo de interação realizada, o WOODSS monitora as atividades que o usuário executa no SIG. A figura 4.2 mostra os possíveis cenários de interação. Em mais detalhes, o usuário pode interagir com o SIG e o WOODSS de três maneiras diferentes:

1. **Usuário-SIG.** O usuário interage com o SIG da forma tradicional sem perceber a presença do WOODSS. Este último, no entanto, monitora as seqüências de operações executadas e as armazena sob a forma de *workflows*.

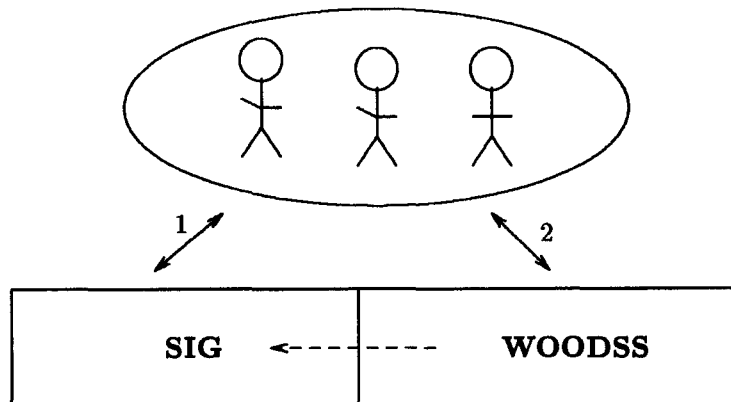


Figura 4.2: Interação Usuário-SIG-WOODSS

2. **Usuário-WOODSS.** Neste modo de operação, o especialista trabalha apenas com consultas e atualizações ao Banco de *Workflows* do WOODSS, com o propósito de re-aproveitar experiências ganhas em processos decisórios prévios para resolver problemas similares. Sob esta forma de interação, o usuário pode também editar *workflows* existentes, complementando a informação que eles armazenam. Um exemplo deste tipo de utilização é a edição de meta-dados com informação sobre os objetivos do problema e a área de estudo (vide seção 2.3).
3. **Usuário-SIG-WOODSS.** Este tipo de interação surge da combinação dos dois anteriores, e consiste na interação alternada do usuário com o SIG e com o WOODSS. O usuário inicia uma sessão usando o SIG. De tempos em tempos, consulta o estado atual do *workflow* corrente e de outros previamente armazenados com o propósito de utilizar essa informação para continuar resolvendo seu problema no SIG. Nesta forma de interação, o especialista pode também complementar o *workflow* corrente com descrições de arquivos, atividades ou meta-dados; e construir dinamicamente um novo *workflow* através de retrocessos no *workflow* corrente (vide seção 3.2). Assim, é possível re-aproveitar parte da própria sequência de passos sendo executada.

Embora não existam restrições sobre o número e tipo das atividades que formam um *workflow*, uma sessão deve constituir uma “unidade lógica”, no sentido de corresponder à resolução de um problema em particular. Deve-se notar que uma sessão pode corresponder à resolução de um sub-problema que forma parte de um problema maior, mas não é desejável que um *workflow* corresponda à resolução de mais de um problema.

Exemplo 4.1

A expectativa de erosão em uma região pode ser calculada a partir da análise de diferentes

fatores que são depois combinados em uma solução final. Um dos fatores que deve ser calculado é o comprimento de rampa; para isto, vários parâmetros devem ser levados em consideração. O sub-problema de calcular o comprimento de rampa pode ser representado como um *workflow*, produzindo um mapa de comprimentos de rampa como produto final, que é um dos parâmetros de entrada para o *workflow* (mais geral) de cálculo de expectativa de erosão na região. O capítulo 6 ilustra o WOODSS usando este exemplo de comprimento de rampa. □

4.3 Arquitetura do WOODSS

A figura 4.3 refina a figura 4.2 mostrando a arquitetura do WOODSS dividida em cinco módulos. O módulo Monitor monitora as atividades executadas pelo usuário em um SIG e traduz esta informação para o formato utilizado pelo Gestor de *Workflows*. O módulo de Atualizações permite ao usuário atualizar os *workflows*, e o módulo de Consultas permite navegar no Banco de *Workflows*. O Gestor de *Workflows* é responsável por criar e gerenciar *workflows* e realizar as consultas e atualizações no Banco de *Workflows*. O módulo Interface realiza a comunicação do usuário com os módulos internos do WOODSS. O SIG interage com os dados geográficos armazenando-os no SGBD, mas não tem acesso direto ao Banco de *Workflows*.

4.3.1 Banco de *Workflows*

O Banco de *Workflows* do WOODSS é armazenado em um SGBD sob a forma de relações. Ele está formado por *workflows* e por meta-dados associados. Um *workflow*, como foi definido no capítulo 3, é especificado como um conjunto de atividades, dados usados e gerados pelas atividades, dependências entre atividades, e agentes.

A cada *workflow* estão associadas informações adicionais sob a forma de registros de meta-dados. O conteúdo destes registros facilita o acesso a um *workflow* específico (através do módulo de Consultas) e permite documentar fatos sobre o *workflow* que não são armazenados no *workflow* propriamente dito. Uma parte destes fatos é definida pela metodologia descrita na seção 2.3 - especificação da área de trabalho e dos objetivos do problema resolvido pelo *workflow*. Além desta informação, o registro de meta-dados inclui o autor do *workflow* (o especialista que executa o processo decisório) e outros comentários como, por exemplo, o sucesso ou não do processo documentado, as possíveis causas de uma solução não satisfatória, e a qualidade ou precisão dos dados usados.

Os *workflows* e meta-dados são criados e gerenciados pelo Gestor de *Workflows* a partir de dados fornecidos pelo Monitor, no caso de atividades monitoradas automaticamente, ou pelo módulo de Atualizações, no caso de informação fornecida pelo usuário.

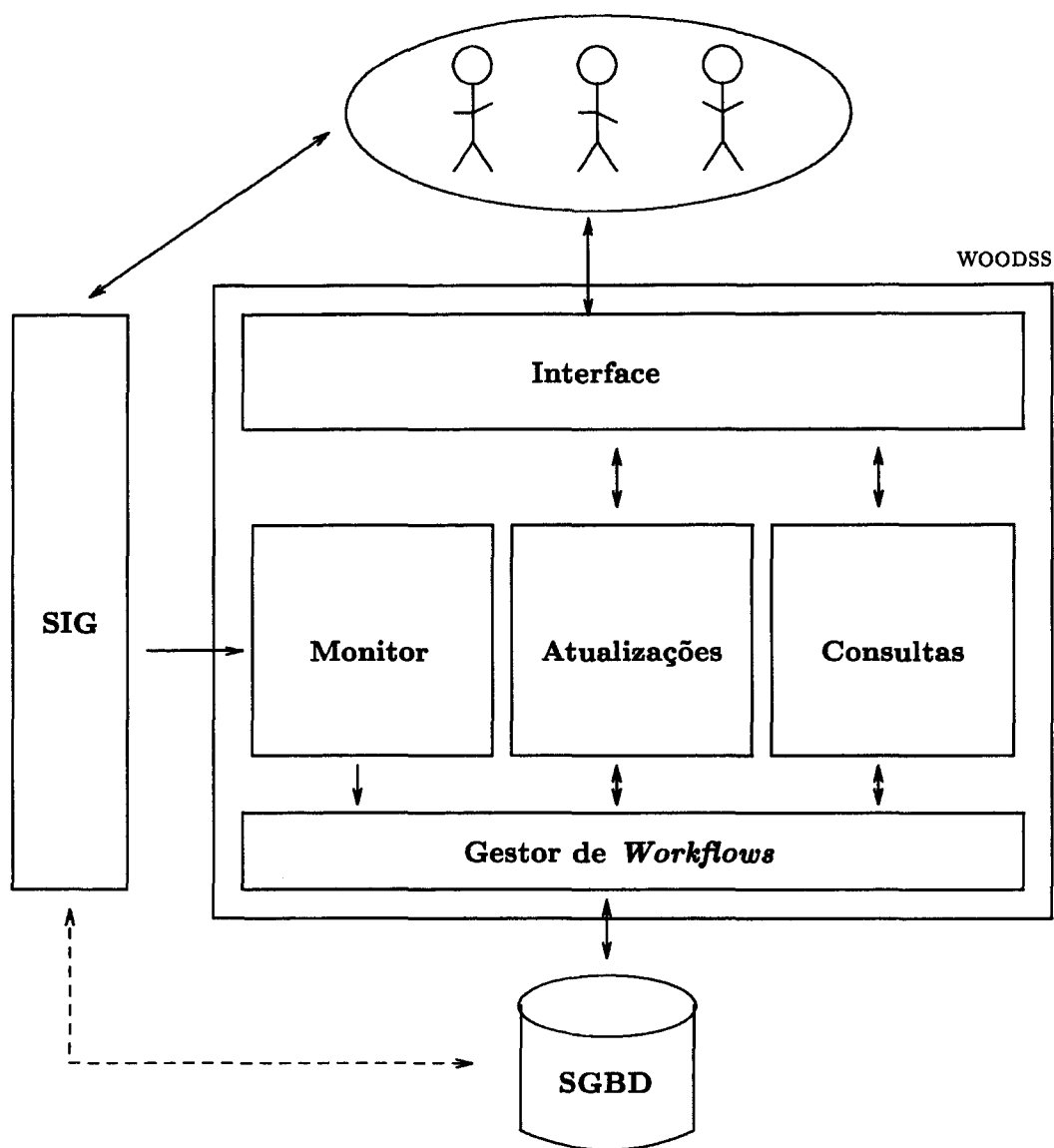


Figura 4.3: Arquitetura do WOODSS

4.3.2 Módulo Monitor

O módulo Monitor é responsável por monitorar as atividades executadas pelo usuário no SIG, e passá-las para o Gestor de *Workflows*, permitindo-lhe construir novos *workflows*. A forma de monitorar as operações depende do SIG considerado. Muitos sistemas, como o IDRISI e o ARC/INFO, definem um arquivo interno no qual as operações realizadas são documentadas em tempo de execução, constituindo um arquivo de *log* das atividades. Neste caso, o monitor pode recuperar as interações do usuário indiretamente através da leitura do *log*. Em sistemas abertos, é possível monitorar diretamente as ações do usuário, sem consultar o arquivo de *log* do SIG. A implementação do módulo Monitor depende, portanto, do SIG a ser monitorado. Se mais de um SIG for acoplado ao WOODSS, deve-se desenvolver um sub-módulo Monitor para cada SIG.

Esta dissertação considera a monitoração de atividades através de arquivos de *log*. Estes arquivos incluem as operações realizadas e seus parâmetros e, em alguns casos, as mensagens de erro ou aviso geradas pelo sistema durante a execução. Os arquivos de *log* têm em geral um formato bem definido, permitindo que o monitoramento possa ser realizado através de uma análise sintática deste arquivo, identificando atividades e dados, e descartando informação irrelevante (por exemplo, comentários sobre as atividades).

4.3.3 Módulo de Atualizações

O módulo de Atualizações permite ao usuário a entrada de dados para criar, eliminar ou modificar *workflows* no Banco de *Workflows* ou atualizar o *workflow* corrente. Os *workflows* podem ser modificados através da inserção de novas atividades como, por exemplo, aquelas realizadas de forma manual. O usuário pode também “refinar” um *workflow* eliminando atividades que não considere relevantes para serem documentadas ou desdobrando atividades. Além disto, pode modificar as atividades de um *workflow* através da inserção ou mudança das descrições das atividades ou dos dados usados ou gerados por elas, ou o registro de meta-dados. Por último, pode criar, modificar ou eliminar novas dependências, especialmente dependências temporais ou de execução, já que não são monitoradas pelo monitor automaticamente.

Em muitos casos, os especialistas resolvem um problema decisório em mais de uma sessão de trabalho, através da combinação dos resultados de sub-problemas resolvidos por eles mesmos ou por outros especialistas. O módulo de Atualizações permite combinar *workflows* ou partes de *workflows* já existentes no Banco de *Workflows*, com o objetivo de criar outros *workflows*.

Ressalte-se que a especificação de um *workflow* pode ser realizada em diversos níveis de abstração, como é descrito no capítulo 3. Um *workflow* especificado em alto nível pode corresponder a uma seqüência de atividades que pode ser especializada para cada SIG

conforme as funções próprias de cada um. O módulo de Atualizações permite estruturar *workflows* hierarquicamente, especificando atividades abstratas a partir de um conjunto de atividades de mais baixo nível.

Finalmente, como mostrado no capítulo 5, o módulo de Atualizações permite modificar o *workflow* corrente.

4.3.4 Módulo Gestor de *Workflows*

O Gestor de *Workflows* é responsável pela manipulação do Banco de *Workflows* dentro do SGBD, sendo responsável pela comunicação WOODSS-SGBD. Ele deve criar e modificar os *workflows*, a partir da informação fornecida pelo Monitor e pelo módulo de Atualizações, e disponibilizá-los ao módulo de Consultas para navegação.

Os dados informados pelo Monitor são convertidos pelo Gestor de *Workflows* em um formato intermediário, que por sua vez é transformado em especificações de relações e tuplas de relações a serem armazenadas no Banco de *Workflows*. Da mesma forma, os dados do Banco de *Workflows* armazenados em um SGBD relacional são traduzidos pelo Gestor para este formato, permitindo aos módulos de Consulta e Atualizações manipular entidades como *workflows*, atividades e dependências.

Além de armazenar a informação sobre as atividades no *workflow* correspondente, o Gestor de *Workflows* utiliza esta informação para determinar as dependências de dados entre as atividades. Para isto, deve casar os dados gerados por uma atividade com os dados usados por outra atividade.

4.3.5 Módulo de Consultas

O módulo de Consultas é responsável pela navegação do usuário sobre o Banco de *Workflows*. Através deste módulo o usuário pode acessar os *workflows* armazenados no Banco de *Workflows* ou consultar o *workflow* corrente.

O WOODSS provê uma facilidade de busca no Banco de *Workflows* baseada em um mecanismo de palavras chave. Basicamente, o usuário fornece palavras chave que são comparadas com a informação armazenada nos *workflows* e nos registros de meta-dados, dependendo do tipo de consulta. O sistema prevê consultas sobre o autor de um *workflow*, áreas geográficas de estudo ou metodologias de trabalho.

Consulta Baseada em Área. Um usuário pode estar interessado em resolver um problema decisório sobre uma certa área geográfica (meta-dados) e assim querer consultar outros processos que foram desenvolvidos sobre a mesma área. Através desta consulta, o usuário pode conhecer os parâmetros usados, e como estes foram manipulados.

Consulta Baseada em Problema. Um usuário que deve resolver um determinado tipo de problema pode consultar o Banco de *Workflows* para obter informação sobre outros processos decisórios desenvolvidos para alcançar objetivos (meta-dados) análogos. Por exemplo, um especialista interessado em determinar a aptidão agrícola das terras de uma região pode aproveitar a experiência adquirida na resolução de problemas similares em outras regiões.

Consulta Baseada em Processos. Um usuário pode realizar consultas sobre a sequência de passos que deu origem a um dado. Esta informação pode ser usada, por exemplo, para ajudar o especialista a decidir sobre a confiabilidade do dado ou a determinar a causa da má qualidade do dado.

Os *workflows* obtidos como resultado destes tipos de consultas podem ser re-aproveitados para, por exemplo:

- guiar outros especialistas na resolução de problemas relacionados;
- re-executar *workflows* parciais com, possivelmente, pequenas variações nos seus parâmetros, evitando a repetição manual de seqüências de passos quase idênticas;
- justificar uma decisão tomada; e
- contar com uma visão global do estado atual de um processo decisório, especialmente quando este consiste de um grande volume de atividades e dados, e há eventualmente um grande número de pessoas desenvolvendo essas atividades.

4.4 Resumo

Este capítulo descreveu o sistema WOODSS, um Sistema Espacial de Apoio ao Processo Decisório baseado em *workflows*. O sistema está composto por cinco módulos: Interface, Monitor, Atualizações, Consultas e Gestor de *Workflows*.

Estes módulos interagem com o propósito de permitir a documentação e o posterior re-aproveitamento dos processos decisórios do usuário. O módulo Monitor monitora as atividades executadas pelo usuário nos SIG e converte esta informação ao formato utilizado pelo Gestor de *Workflows*. O módulo de Atualizações permite inserir atividades manuais e informação sobre as atividades monitoradas e os dados usados. O Gestor de *Workflows* realiza a interface WOODSS-SGBD. Por último, a Interface permite a comunicação dos demais módulos do WOODSS com os usuários.

O próximo capítulo descreve aspectos da implementação do WOODSS acoplado ao SIG IDRISI.

Capítulo 5

Aspectos de Implementação

Este capítulo descreve alguns aspectos da implementação do sistema WOODSS, apresentado no capítulo anterior.

O sistema foi projetado para ser acoplado ao SIG *IDRISI for Windows versão 2.0*. A implementação foi realizada utilizando a linguagem orientada a objetos JavaTM [HRSM97b, Fla97, CH97a]. O Banco de *Workflows* foi implementado a partir do Visual FoxProTM 5.0, como um conjunto de relações. Para a conexão do programa com o Banco de *Workflows* utilizou-se a Interface de Programação de Aplicações (*Application Programming Interface - API*) chamada JDBCTM [HRSM97a, HCF97, CH97b]. Esta ferramenta consiste de um conjunto de classes e interfaces escritas em JavaTM. A interação de JavaTM com o Visual FoxProTM 5.0 é realizada a partir de chamadas a comandos SQL (Structured Query Language) [EN94] dentro do código JavaTM.

Este capítulo está organizado da seguinte forma. A seção 5.1 introduz o SIG IDRISI. A seção 5.2 descreve o funcionamento do módulo Monitor para interceptar as operações realizadas pelo usuário no IDRISI. A seção 5.3 discute como é implementado o Banco de *Workflows*, e a seção 5.4 como este é manipulado pelo Gestor de *Workflows*. A seção 5.5 descreve como são processadas as consultas do usuário. A seção 5.6 discute a implementação do mecanismo de re-execução de atividades. A seção 5.7 descreve as operações do módulo de Atualizações para acrescentar informação aos *workflows* e registros de metadados. A seção 5.8 apresenta a interface do sistema com o usuário. Por último, a seção 5.9 resume o capítulo.

5.1 O SIG IDRISI

O *software* IDRISI [Eas97b, Eas97a] é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) desenvolvido pela *Graduate School of Geography* na Universidade de *Clark*. O sistema foi apresentado pela primeira vez em 1987 e é considerado o mais disseminado dentre os SIGs

para microcomputadores baseados em estrutura matricial.

O IDRISI é formado por um programa principal que atua como uma interface para uma coleção de mais de cento e cinquenta módulos de programa, que provêem facilidades para a entrada, apresentação e análise de dados geográficos. Estes módulos incluem ferramentas para o desenvolvimento de aplicações em monitoramento ambiental e o gerenciamento de recursos naturais. Exemplos são funções para a análise de séries temporais, algumas funções para o apoio à decisão sob múltiplos critérios e sob múltiplos objetivos, e para a análise de incertezas e modelagem por simulação.

Os dados geográficos são armazenados em arquivos, representando planos de informação. Como os dados geográficos podem ser de distintos tipos (vide seção 2.1), o IDRISI permite planos de informação quer no formato de imagem matricial quer no formato vetorial. Embora existam algumas facilidades para a análise vetorial e para conversões entre ambos tipos, as funções de análise são principalmente orientadas ao formato matricial.

O IDRISI registra as operações efetuadas pelo usuário em um arquivo de *log* seqüencial. Além de indicação das funções invocadas (nome do módulo e parâmetros), o *log* também armazena eventuais mensagens de erro e avisos gerados durante a execução dos módulos. Existem algumas poucas exceções de módulos para os quais não é gerada uma entrada no *log* (por exemplo *Edit*). O *log* do IDRISI é o arquivo de comunicação entre o IDRISI e o módulo Monitor do WOODSS, descrito na próxima seção.

Cada entrada do *log* correspondente a uma operação contém o nome do módulo utilizado e os parâmetros, incluindo os nomes dos arquivos usados como entrada e gerados como saída, e outras variáveis como opções dos módulos (por exemplo, classificação por intervalos iguais ou definida pelo usuário, no módulo *Reclass*), e formatos de saída (por exemplo, numérica ou gráfica no módulo *Histo*). As entradas referentes a mensagens são identificadas através de um número diferente para cada tipo. A figura 5.1 ilustra o formato do arquivo de *log*. O estudo dos registros de *log* permitiu classificá-los em quatro casos distintos, ilustrados na figura 5.1:

1. Registros correspondentes a atividades que foram executadas corretamente. Por exemplo, a execução do módulo *Cluster* (utilizado para a classificação não supervisionada de imagens).
2. Registros para atividades que não foram executadas devido a erros, seguidas de mensagens de erro. Por exemplo, durante a execução do módulo *Histo* (utilizado para criar histogramas de frequência dos valores das células de uma imagem) ocorreu um *overflow*, indicado em um registro seguinte àquele correspondente à tentativa de execução do módulo.
3. Registros com mensagens de erro, que não estão associados a alguma atividade

```

Idrisi for Windows Log File
-----
Initialized : 20:39:02, 06-04-1998
-----

c:\idrisi\Cluster w421 landuse OUT001 1 1

c:\idrisi\Histo w421 b4cf2s 16 1 1 0 255 3960 6318 3
-4270      Last class too small. Maximum reset to   256.000000.
-205       Floating point overflow.

-14909     Syntax error on line 1. Command lines for Idrisi modules must ha

c:\idrisi\Histo w421 comp1 2 1 1 0 215 2728 5794 5
-4270      Last class too small. Maximum reset to   216.000000.

```

Figura 5.1: Registros de Atividades e Erros do *Log* do IDRISI

prévia. Por exemplo, um erro de sintaxe em uma macro (seqüência de linhas de comando indicando módulos e seus parâmetros) que está sendo executada.

4. Registros com mensagens de aviso. Estes não assinalam erros, apenas comunicam que alguma decisão precisou ser tomada pelo IDRISI para executar a atividade. Por exemplo, se o módulo *Overlay* (utilizado para realizar operações binárias entre imagens) é executado com um dos arquivos em formato ASCII e outro em formato binário, o IDRISI gera uma mensagem indicando que a saída terá formato binário. Na figura, as duas execuções do módulo *Histo* geraram mensagens de aviso.

O formato de um registro de *log* depende do módulo e, em alguns casos, da opção de execução do módulo. O seguinte exemplo ilustra esta característica.

Exemplo 5.1

Seja um arquivo de *log* com três entradas correspondentes a três ativações do módulo *Reclass*, que diferem de acordo com a opção de re-classificação escolhida. A figura 5.2 ilustra estes registros. As três linhas correspondem à re-classificação de uma imagem (parâmetro *i*), armazenada no arquivo denominado *Slopes* para gerar uma imagem re-classificada a ser armazenada no arquivo *SlopesOK*. O próximo parâmetro corresponde à opção do tipo de re-classificação e seu valor (1,2 ou 3) determina os parâmetros que seguem:

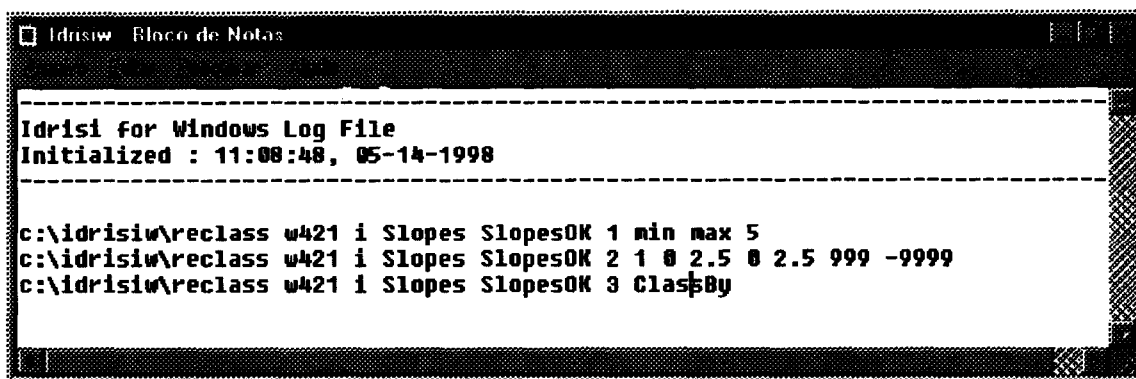


Figura 5.2: Log correspondente a execuções do módulo *Reclass*

1. A entrada com valor de opção *1* (primeira linha) corresponde a uma re-classificação por intervalos iguais, na qual são usados os mesmos valores mínimo e máximo da imagem e são definidas 5 classes.
2. A entrada com valor *2* (segunda linha) corresponde a uma re-classificação definida pelo usuário, na qual é atribuído um novo valor *1* às células com valores entre *0* e *2.5*, e valor *0* às células com valores maiores de *2.5*.
3. A entrada com valor *3* (terceira entrada) indica que os valores para a re-classificação devem ser recuperados do arquivo chamado *ClassBy*.

□

Para a implementação básica do WOODSS foram considerados 27 módulos do IDRISI, com base nos exemplos encontrados na área de planejamento agro-ambiental. A implementação pode ser estendida facilmente para incluir os demais módulos. O apêndice A descreve a funcionalidade dos módulos do IDRISI utilizados, visando uma melhor compreensão dos exemplos apresentados no decorrer da dissertação.

5.2 Módulo Monitor

O módulo Monitor serve de interface entre o SIG e o Gestor de *Workflows*. Ele utiliza como entrada informações do *log* e do arquivo de ambiente do IDRISI. O Monitor examina o arquivo de *log* do IDRISI ao mesmo tempo em que este é gerado em uma sessão do usuário. A informação recuperada é passada ao Gestor de *Workflows*, para ser armazenada no *workflow* sendo gerado durante a sessão de trabalho corrente.

O arquivo de ambiente do IDRISI contém informação sobre o diretório de trabalho e as extensões utilizadas para os diferentes arquivos de dados (por exemplo, *.img* para arquivos de imagem), já que estas não estão presentes no *log*.

Para identificar funções, arquivos e mensagens de erro, o Monitor precisa realizar uma análise sintática do *log* e do arquivo de ambiente, descartando atividades que não foram executadas e erros. Como visto na seção prévia, diferentes combinações de linhas de erros e atividades corretas ou não estão misturadas no *log*. Um problema que precisou ser resolvido é o fato de que uma linha de comando pode originar vários registros de erro ou aviso (vide por exemplo a figura 5.1, onde o segundo comando - *Histo* - originou uma mensagem de erro e outra de aviso).

Uma vez descartados os registros correspondentes a mensagens e módulos não executados, cada registro restante corresponde a uma atividade do *workflow*. Dado que a interpretação de uma atividade depende do módulo utilizado (e possivelmente da opção), cada módulo deve ser tratado em forma separada. Após recuperados os parâmetros das atividades, estas são passadas ao Gestor de *Workflows*, que acrescenta as atividades monitoradas ao *workflow* corrente, e determina as dependências de dados entre as atividades, de acordo com os arquivos por elas usados como entrada e gerados como saída.

5.3 Banco de *Workflows* e Meta-dados

O Banco de *Workflows* do WOODSS é implementado no Visual FoxProTM (versão 5.0). Cada *workflow* é armazenado em três relações: Atividades, Arquivos e Dependencias, que armazenam, respectivamente, dados sobre atividades, arquivos e dependências dentro do *workflow*. O *workflow* recebe um nome definido pelo sistema que é igualmente atribuído às três relações e aos arquivos de meta-dados que descrevem o *workflow*.

O conjunto <Meta-dados, Atividades, Arquivos, Dependencias> de um *workflow* é acessado pelo nome deste *workflow* a partir de uma relação denominada *Workflows*.

5.3.1 Relação Workflows

A relação *Workflows* mantém um registro dos *workflows* que formam parte do Banco de *Workflows*. O esquema da relação é:

```
id: NUMERIC(14)
title: CHAR(40)
```

O atributo *id* é um identificador gerado automaticamente pelo sistema cada vez que um novo *workflow* é criado, e *title* é um título para o *workflow* fornecido pelo usuário. O valor de *id* é propagado para o nome dos arquivos que armazenam o *workflow*, a saber

Atividades, Arquivos, Dependências e Meta-dados. Se n é o número de tuplas da relação *Workflows*, então o Banco de *Workflows* tem n arquivos de Meta-dados e $3n + 1$ relações.

5.3.2 Relação Atividades

O esquema da relação Atividades é:

```
id: INT
name: CHAR(40)
origin: CHAR(1)
module: CHAR(10)
input: CHAR(10)
output: CHAR(10)
others: CHAR(60)
```

O atributo *id* é um identificador de atividade gerado internamente pelo WOODSS, e *name* é um título inferido pelo sistema para a atividade. O domínio do atributo *origin* consiste dos valores *I* e *M*, indicando se os atributos da tupla foram fornecidos pelo IDRISI (*I*) ou manualmente pelo usuário (*M*). O atributo *module* identifica a operação do SIG correspondente à atividade. Os atributos *module* e *origin* permitem determinar sem ambigüidades a atividade executada. Os atributos *input* e *output* correspondem, respectivamente, aos identificadores dos arquivos utilizados como parâmetro de entrada e gerados como saída pela atividade, separados pelo caracter #. Estes identificadores de arquivos correspondem a chaves estrangeiras para a relação Arquivos. O atributo *others* contém todos os demais parâmetros, que diferem em número e tipo de acordo com a atividade. A interpretação dos valores (separados pelo caracter @) do atributo *others* depende da atividade. No caso de atividades manuais, o valor deste atributo é atribuído explicitamente pelo usuário. Uma atividade pode ter mais de um arquivo de entrada e/ou de saída, ou mesmo não usar nenhum arquivo. O seguinte exemplo ilustra a relação Atividades.

Exemplo 5.2

A tupla

$\langle 4, \textit{BothCalculation}, I, \textit{surface}, 2\#, 3\#4\#, 3@d@1.0@ \rangle$

indica que a atividade com valor de *id* 4 corresponde ao cálculo de declividades usando o módulo *Surface* do IDRISI, através da opção *Slope and Aspect* deste módulo (correspondente ao valor inteiro 3 no atributo *others*). O parâmetro de entrada é o arquivo com identificador 2, e a saída são os arquivos com identificadores 3 (imagem de declividades) e 4 (imagem de aspecto), todos eles referenciando tuplas na relação Arquivos. A operação foi realizada em graus (*d*) e com fator de conversão 1.0. □

5.3.3 Relação Arquivos

O esquema da relação Arquivos é:

`id: INT`
`name: CHAR(30)`
`extension: CHAR(3)`
`title: CHAR(80)`

O atributo `id` é o identificador de arquivo gerado pelo WOODSS, `name` é o nome do arquivo, `extension` é sua extensão, e `title` é um título para o arquivo, retirado do campo “título” que faz parte de um arquivo no IDRISI (extensão *.doc*). O seguinte exemplo ilustra a relação Arquivos.

Exemplo 5.3

A tupla

< 6, Soils, img, PodzolSoil – Campinas >

corresponde ao arquivo *Soils.img*, que recebeu o identificador *6* no WOODSS e foi descrito pelo usuário como solo podzólico da região de Campinas. □

5.3.4 Relação Dependencias

O esquema da relação Dependencias é :

`id1: INT`
`id2: INT`
`type: CHAR(1)`
`name: CHAR(30)`

Os atributos `id1` e `id2` são chaves estrangeiras da relação Atividades, identificando as atividades envolvidas na dependência, `type` indica o tipo de dependência e `name` descreve a dependência.

O tipo de uma dependência pode ser *D* (dados), *T* (temporal), ou *E* (execução) –vide seção 3.1. No caso de uma dependência de dados, `name` armazena o identificador interno do arquivo gerado por uma atividade com *id 1* e usado como entrada de *2*; nos demais casos, armazena uma condição.

Exemplo 5.4

A tupla

< 1, 2, D, 5 >

corresponde a uma dependência de dados entre as atividades *1* e *2*. Esta dependência surgiu porque a atividade *2* usou como parâmetro de entrada o arquivo com identificador *5*, gerado como saída pela atividade *1*. □

```
#Author:  
...  
#Objectives:  
1. ...  
2. ...  
#Area:  
...  
#Other:  
...
```

Figura 5.3: Registro de Meta-dados associado a um *Workflow*

5.3.5 Registro de Meta-dados

Além das relações descritas acima, o WOODSS permite ao usuário complementar a documentação de cada *workflow* através de um arquivo de meta-dados. Este arquivo contém informação sobre o autor do *workflow*, os objetivos do problema, a área de estudo, e outros comentários, tal como discutido na seção 4.3.1. O usuário pode, igualmente, comentar características adicionais do *workflow*, como por exemplo, seu sucesso ou insucesso. A figura 5.3 ilustra o formato do arquivo de meta-dados.

5.4 Módulo Gestor de *Workflows*

Diferentes *workflows* são armazenados a partir da instanciação das relações Atividades, Arquivos e Dependencias, geradas pelo Gestor de *Workflows*. Estas tuplas são geradas a partir de dados fornecidos pelo Monitor (seção 5.2) e pelo módulo de Atualizações (seção 5.7).

O Monitor fornece ao Gestor de *Workflows* dados para a inserção de tuplas com *origin*=*I* (e valor do atributo *module* igual a um módulo do IDRISI) na relação Atividades. O módulo de Atualizações permite ao usuário fornecer ao Gestor dados para a inserção de tuplas com *origin*=*M* (atividade manual e *module*=*null*).

Cada arquivo referenciado por alguma atividade corresponde a uma tupla na relação Arquivos. Uma tupla de Atividades pode referenciar vários arquivos de entrada (atributo *input*) e saída (atributo *output*). O Gestor insere novas tuplas na relação Arquivos à medida em que novos nomes de arquivos são referenciados pelo usuário.

O Gestor de *Workflows* cria tuplas do tipo $\langle 1, 2, D, 5 \rangle$ quando a atividade com

$id=1$ gera o arquivo com identificador interno 5 e este é usado como entrada pela atividade com $id=2$. Dependências temporais ou de execução são fornecidas pelo usuário através do módulo de Atualizações.

O exemplo a seguir ilustra a geração do arquivo de meta-dados e das três relações que formam um *workflow*.

Exemplo 5.5

Seja o problema de determinar uma área adequada para a instalação de uma fábrica no estado de São Paulo. O lugar escolhido deve satisfazer as seguintes restrições:

1. apresentar uma declividade menor que 3 graus;
2. estar fora de uma área de 250 metros ao redor de reservas ambientais; e
3. não ser atualmente uma área de florestas.

A resolução deste problema pode se realizar seguindo quatro passos: um para cada critério mencionado, e um último passo combinando o resultado dos passos anteriores. A figura 5.4 ilustra através de um grafo o *workflow* correspondente à resolução do problema.

1. Para o cálculo do primeiro critério é preciso desenvolver um mapa de declividades (em graus) da área geográfica, e re-classificá-lo para criar uma imagem *booleana* com áreas de declividades menores e maiores que 3 graus. A operação *Slope Calculation* usa a opção *Slope* do módulo *Surface*, usando como entrada um arquivo do tipo imagem denominado **Relief** e gerando como saída um arquivo de tipo imagem nomeado **Slopes**. A seguir, a imagem **Slopes** é re-classificada para obter a imagem **SlopeOK** (usando o módulo *Reclass*).
2. A área de 250 metros ao redor das zonas de reservas é calculada em três passos: (1) re-classificação de um arquivo chamado **LandUse** através da atribuição do valor 1 às zonas de reservas, obtendo como saída o mapa **Reserves**; (2) cálculo da distância de cada ponto geográfico na região de estudo à reserva mais próxima usando o módulo *Distance* e gerando como resultado o mapa **DisRes**; e (3) re-classificação do mapa **DisRes** em distâncias maiores e menores que 250 metros, gerando o arquivo **BufRes**.
3. As zonas que não correspondem a florestas são obtidas a partir da re-classificação de um arquivo de imagem contendo os diferentes tipos de uso do solo, e gerando um arquivo de tipo imagem denominado **Forests**.
4. As três imagens obtidas nos passos prévios - **SlopeOK**, **BufRes** e **Forests** - são combinadas através do módulo *Overlay*, obtendo o mapa final **AreasOK**. Este mapa representa aquelas áreas que satisfazem as três restrições mencionadas.

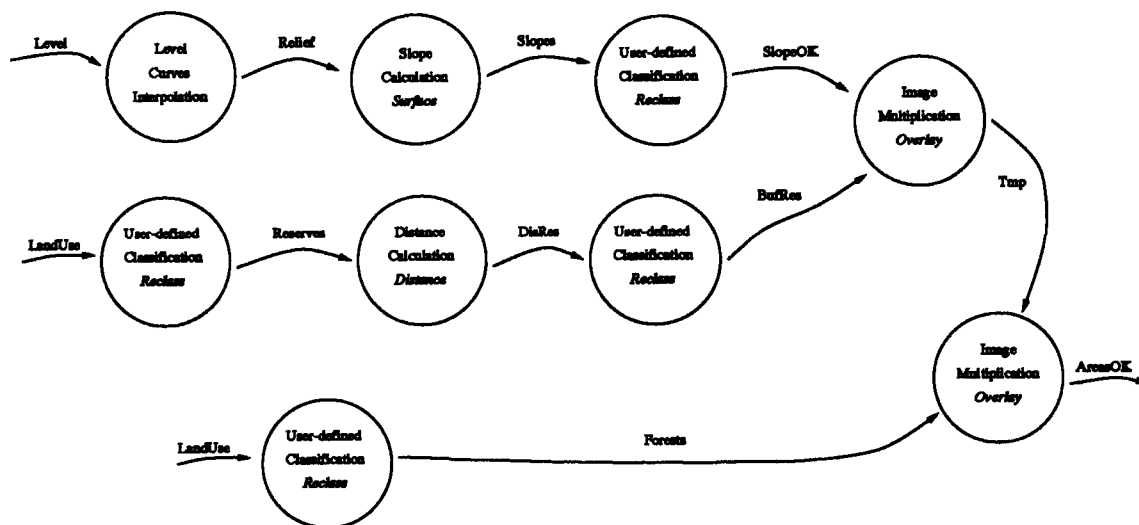


Figura 5.4: *Workflow* correspondente à Resolução do Problema

A figura 5.5 apresenta o *log* gerado pelo IDRISI na execução destas atividades, as figuras 5.6 (a), 5.6 (b) e 5.6 (c) (página 50) mostram respectivamente as relações Atividades, Arquivos e Dependências, que formam a especificação do *workflow*. A figura 5.7 apresenta o registro de meta-dados associado. Os dois exemplos apresentados a seguir descrevem tuplas correspondentes a uma atividade interceptada no IDRISI e a uma atividade manual.

Considere-se como exemplo de uma atividade monitorada no IDRISI aquela com valor de *id* igual a 6, correspondente à sexta linha do *log*, que executa a re-classificação do mapa de uso do solo em áreas com e sem florestas. Esta linha corresponde a uma classificação com parâmetros definidos pelo usuário (*name=User-defined Classification*), realizada usando o módulo *Reclass* do IDRISI (*origin=I*). No atributo *input*, o identificador de arquivo 4 corresponde à imagem **LandUse** e no atributo *output*, o identificador 8 indica a imagem **Forests**.

A tupla com identificador 9 corresponde a uma atividade manual fornecida pelo usuário através do módulo de Atualizações. O usuário especifica o nome da atividade (*name=Level Curves Interpolation*) e os arquivos usados como parâmetro de entrada (arquivo 11 correspondente ao arquivo chamado **Level**) e saída (arquivo chamado **Relief**). Ressalte-se que uma atividade pode ter mais de um arquivo de entrada e/ou gerado como saída. As atividades 7 e 8 têm dois arquivos de entrada e um de saída.

A relação Arquivos tem uma tupla para cada arquivo utilizado. Note que o título de um arquivo pode ser nulo porque o usuário não o forneceu. Os arquivos de mapa **LandUse** (*id=4*) e **Forests** (*id=8*), por exemplo, são de tipo imagem (*extension=img*). O título

```

Idrisi For Windows Log File
Initialized : 19:16:48, 06-01-1998

c:\idrisi\surface w421 1 relief slopes 8 d
c:\idrisi\reclass w421 1 slopes slopeok 2 1 0 3 0 3 999 -9999
c:\idrisi\reclass w421 1 landuse reserves 2 0 0 2 1 2 2 0 3 99 -9999
c:\idrisi\distance w421 reserves disres
c:\idrisi\reclass w421 1 disres bufres 2 0 0 250 1 250 99999 -9999
c:\idrisi\reclass w421 1 landuse forests 2 0 0 9 1 9 11 0 11 99 -9999
c:\idrisi\overlay w421 3 slopeok bufres tmp
c:\idrisi\overlay w421 3 tmp forests areasok

```

Figura 5.5: Arquivo de *Log* gerado pelo IDRISI para o problema

do primeiro está disponível, mas não do segundo.

Uma tupla é inserida na relação Dependencias para cada dependência de dados determinada pelo WOODSS. A quarta e quinta tuplas da relação, por exemplo, correspondem às dependências entre as atividades 2 e 7, e 5 e 7, respectivamente. Elas indicam que as imagens *SlopeOK* e *BufRes*, usadas como parâmetro de entrada na atividade com id 7, já foram inseridas na relação Arquivos (com id de arquivo 3 e 7 respectivamente), e que estas foram geradas como saída pelas atividades com id 2 e 5, respectivamente. □

5.5 Módulo de Consultas

A arquitetura do WOODSS permite, através do módulo de Consultas, acessar o *workflow* corrente ou os *workflows* armazenados no Banco de *Workflows*. Após selecionar o *workflow* de interesse, o usuário pode consultar informação sobre atividades executadas, arquivos utilizados, dependências entre as atividades e registros de meta-dados, assim como atualizar o *workflow* ou os meta-dados. A busca no Banco de *Workflows* é realizada através da comparação de palavras chave fornecidas pelo usuário com o título de cada *workflow*, a informação armazenada nas relações Atividades, Arquivos e Dependencias e/ou o registro de meta-dados.

A tabela 5.1 mostra, para cada campo de busca, os atributos das relações Atividades, Arquivos, Dependencias e Workflows e os campos no registro de meta-dados que devem ser analisados no processamento de cada tipo de consulta. Mais de uma palavra chave pode ser fornecida em uma consulta, no mesmo ou em diferentes campos de busca.

Aw19980501235253

1	Slope Calculation	I	surface	1#	2#	1@d@1.0@
2	UserDefined Classification	I	reclass	2#	3#	i@2@1@0@3@0@3@999@-9999@
3	UserDefined Classification	I	reclass	4#	5#	i@2@0@0@2@1@2@2@0@3@99@-9999@
4	Distance Calculation	I	distance	5#	6#	.NULL
5	UserDefined Classification	I	reclass	6#	7#	i@2@0@0@250@1@250@99999@-9999@
6	UserDefined Classification	I	reclass	4#	8#	i@2@0@0@9@1@9@11@0@11@999@-9999@
7	Image Multiplication	I	overlay	3#7#	9#	3@
8	Image Multiplication	I	overlay	9#8#	10#	3@
9	Level Curves Calculation	M	.NULL	11#	1#	.NULL

(a) Relação Atividades

Xw19980501235253

1	relief	img	Sao Paulo State - DEM
2	slopes	img	Sao Paulo State - Slopes
3	slopeok	img	Sao Paulo State - Slopes > 3 degrees
4	landuse	img	Sao Paulo State - Land Use map
5	reserves	img	Sao Paulo State - Reserves
6	disres	img	Sao Paulo State - Distances from a reserve
7	bufres	img	Sao Paulo State - 250 m. buffer area around reserves
8	forests	img	.NULL
9	tmp	img	.NULL
10	areasok	img	Sao Paulo State - Appropriate areas for installing a factory
11	level	vec	Sao Paulo State - Level Curves

(b) Relação Arquivos

Dw19980501235253

1	2 D	2
3	4 D	5
4	5 D	6
2	7 D	3
5	7 D	7
7	8 D	9
6	8 D	8
9	1 D	1

(c) Relação Dependencias

Figura 5.6: Descrição do *Workflow*: Atividades, Arquivos e Dependencias

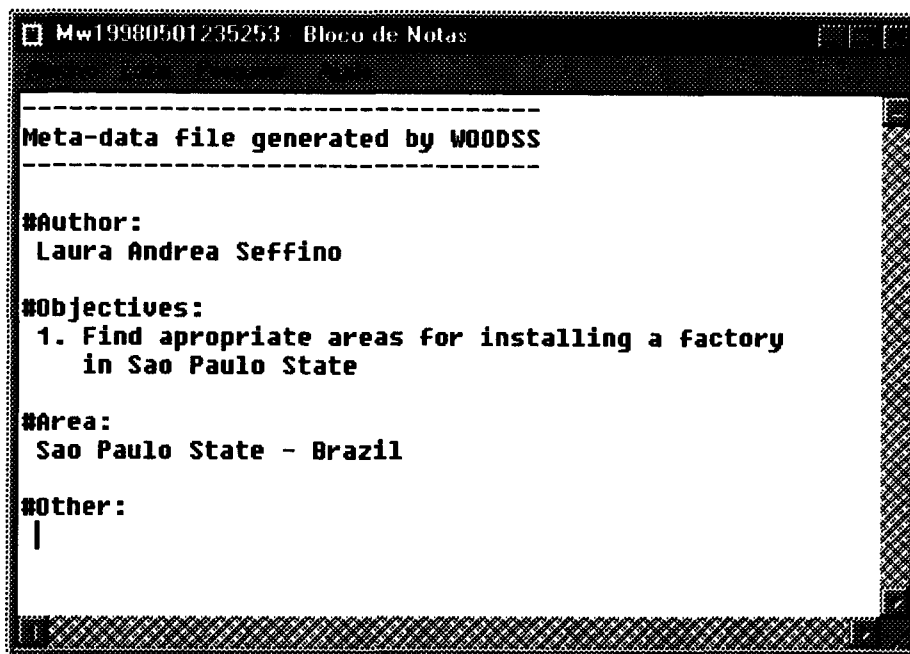


Figura 5.7: Registro de Meta-dados

Campo Busca	Busca em...	Estrutura analisada
title	title	relação Workflows
author	author	registro de meta-dados
geographical area	area	
objective	objectives	
activity	name	relação Atividades
data	title	relação Arquivos
file	name extension	

Tabela 5.1: Busca no Banco de *Workflows* e Registros de Meta-dados

O resultado de uma consulta ao Banco de *Workflows* pode ser apresentado sob forma de uma lista de pares (*título, data*), extraídos respectivamente dos campos *title* e *id* da relação *Workflows*. Se não existir um título pode ser apresentado o objetivo do *workflow*, armazenado no registro de meta-dados.

5.6 Re-execução de Atividades

O WOODSS permite que o usuário re-execute um conjunto de operações já realizadas no IDRISI e que foram documentadas sob a forma de *workflow*. O capítulo anterior menciona a importância da re-execução automática de seqüências de passos quase idênticas; isto permite evitar que o usuário tenha que executá-las novamente de forma manual com apenas algumas variações nos seus parâmetros.

Dado que o IDRISI não permite que outros programas (e portanto também o WOODSS) executem um conjunto de operações de forma direta, o WOODSS gera um arquivo de macro, que é disponibilizado ao usuário para que este o execute no IDRISI. A sintaxe dos dados deste arquivo é análoga à sintaxe do arquivo de *log*.

As etapas deste processamento seguem a seguinte ordem:

1. O usuário seleciona algum *workflow* já executado (armazenado no Banco de *Workflows*) ou o *workflow* corrente, e seleciona partes deste *workflow* clicando sobre os retângulos correspondentes, criando assim um novo *workflow* parcial.
2. O WOODSS gera um conjunto de relações temporárias <Tmptatividades,Tmparquivos,Tmpdependencias>, contendo a descrição do *workflow* parcial.
3. O usuário modifica o *workflow* parcial (enquanto o WOODSS reflete essas atualizações nas relações temporárias).
4. O WOODSS gera uma macro a partir das relações temporárias e apaga estas relações.
5. O usuário executa esta macro.
6. O WOODSS atualiza as relações do *workflow* corrente, refletindo a execução da macro e gerando novos identificadores para todas as atividades do *workflow* parcial *mesmo que uma atividade deste workflow parcial corresponda à repetição de atividades já executadas no workflow corrente*.

Uma vantagem deste mecanismo de re-execução de atividades é que um usuário pode apenas indicar *workflows* a serem re-executados, sem necessidade de conhecer a sintaxe definida pelo IDRISI.

Exemplo 5.6

Re-tomando o problema apresentando no exemplo 5.5 (página 47), suponha que foi encontrado um número relativamente grande de áreas adequadas para a instalação de uma fábrica. O usuário pode querer restringir ainda mais seus critérios de busca com o propósito de identificar um número menor de áreas, mas com melhores características. Para tal fim, decide, por exemplo, limitar sua busca a áreas com declividades menores que 2 graus e que estejam fora de uma região de 350 metros ao redor de reservas ambientais.

Para isto, o WOODSS permite que o usuário selecione no próprio *workflow* corrente as quatro atividades envolvidas com estes critérios (2, 5, 7 e 8 na figura 5.6 (a)) e modifique os parâmetros para refletir os novos critérios. A figura 5.8 (a) mostra a relação temporária Tmpatividades criada, que copia as tuplas relevantes da relação Atividades do *workflow* corrente, já com os parâmetros modificados. A seguir, o usuário muda os nomes das imagens geradas por estas novas atividades, o que lhe permite manter várias versões dos arquivos gerados. A figura 5.8 (b) reflete isto, sendo gerada a partir da cópia das tuplas relevantes na relação Arquivos (figura 5.6 (b)), seguido das atualizações dos nomes dos arquivos. □

Para gerar a macro correspondente a um *workflow* parcial, usa-se um procedimento “inverso” ao usado quando as tuplas são inseridas nas relações que formam um *workflow*. O WOODSS processa as relações temporárias, gerando para cada tupla da relação Tmpatividades uma linha no arquivo de macro. Dado que o formato do comando de macro varia segundo cada módulo, cada módulo é tratado individualmente. A figura 5.9 mostra o arquivo de macro gerado pelo WOODSS a partir do *workflow* parcial apresentado na figura 5.8. O seguinte exemplo ilustra o processo de geração de um comando de macro.

Exemplo 5.7

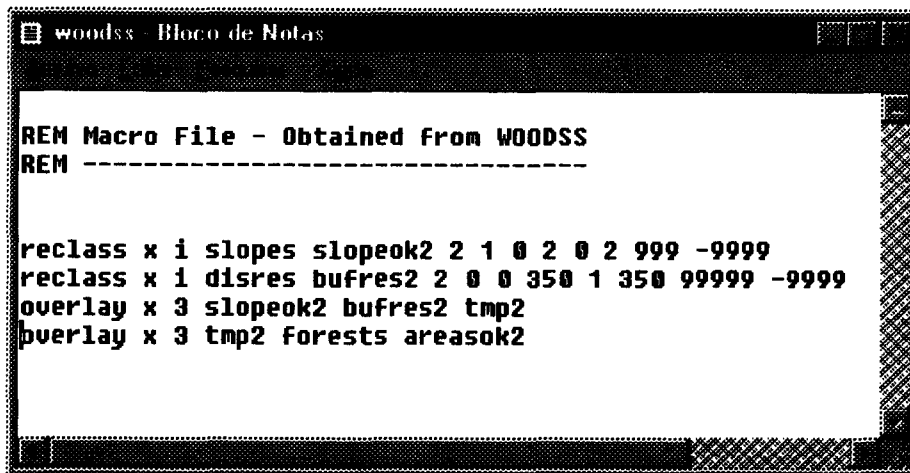
Considere-se a tupla de id=2 da relação temporária Tmpatividades, que corresponde à execução do módulo *Reclass*, usando como parâmetro de entrada a imagem **Slopes** e gerando como saída a imagem **SlopeOK2**. No atributo *others* foi substituído o valor 3 pelo novo valor 2, e a relação Arquivos também foi modificada para refletir o novo nome. Esta tupla é transformada na linha de macro

Reclass x i Slopes SlopeOK2 2 1 0 2 0 2 999 – 9999.

□

5.7 Módulo de Atualizações

O módulo de Atualizações permite atualizar *workflows* e editar meta-dados.



```
woodss - Bloco de Notas

REM Macro File - Obtained from WOODSS
REM -----

reclass x 1 slopes slopeok2 2 1 0 2 0 2 999 -9999
reclass x 1 disres bufres2 2 0 0 350 1 350 99999 -9999
overlay x 3 slopeok2 bufres2 tmp2
bverlay x 3 tmp2 forests areasok2
```

Figura 5.9: Arquivo de Macro gerado pelo WOODSS

O módulo de Atualizações possibilita também a entrada de dependências temporais e de execução. Estas podem ser inseridas escolhendo as atividades envolvidas e fornecendo uma condição (por exemplo, "esperar 30 dias"). Este módulo permite igualmente modificar os nomes das atividades, os títulos dos arquivos e as condições em dependências temporais e de execução.

Uma das funções principais deste módulo é a edição dos meta-dados associados a um *workflow*. O usuário pode inserir informação sobre o especialista que desenvolveu a sessão de trabalho documentada e os objetivos da sessão, a área geográfica referenciada pelo problema, e outros comentários relevantes. Esta informação é armazenada no registro de meta-dados associado ao *workflow*. Por último, é possível inserir um título para o *workflow*, que é armazenado na relação *Workflows*.

O WOODSS permite, através deste módulo, eliminar o *workflow* corrente ou recuperado do Banco de *Workflows* a partir de consultas baseadas em palavras chave. Possíveis extensões à implementação atual são eliminar atividades específicas, combinar partes de *workflows* para gerar um único *workflow*, e agrupar atividades em outras atividades com maior nível de abstração. Estas extensões são discutidas com maior detalhe no capítulo 7.

5.8 Interface

As seções prévias discutiram aspectos de implementação dos módulos internos ao WOODSS. Esta seção descreve como as diferentes facilidades previstas pelo WOODSS são apresentadas

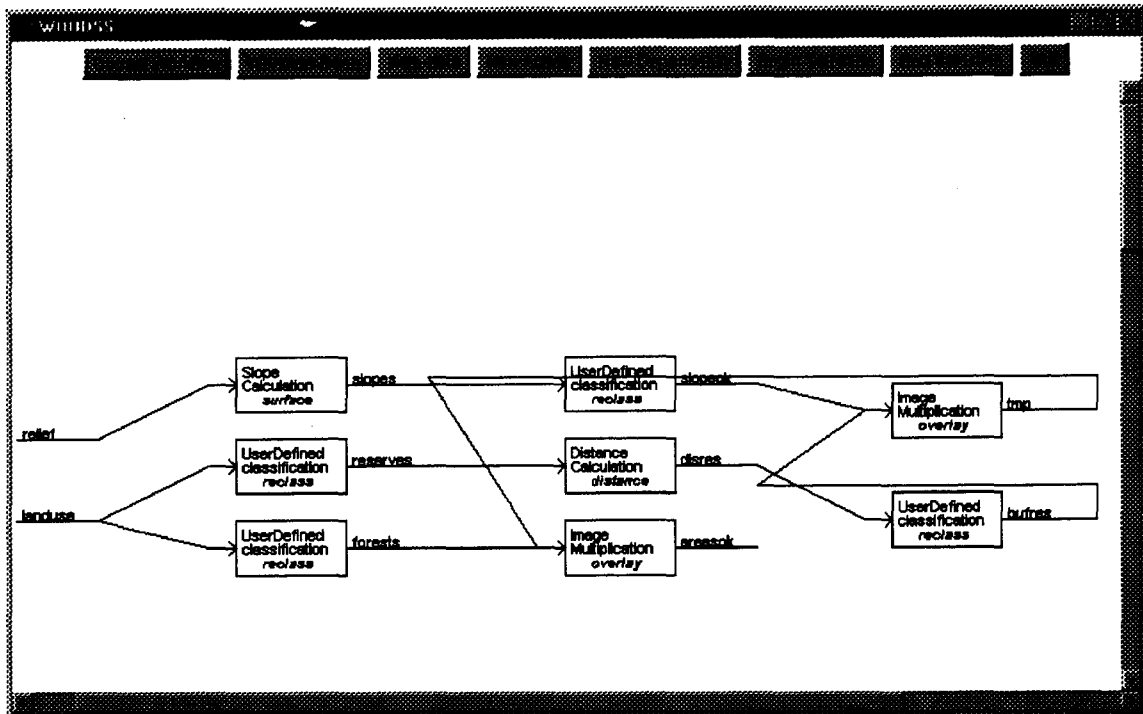


Figura 5.10: Interface Geral do WOODSS

ao usuário, e como este interage com elas durante o seu processo decisório.

A figura 5.10 apresenta a interface geral do WOODSS, que consiste em um conjunto de botões de controle e uma área de apresentação dos *workflows*. O botão rotulado *Workflow Base* permite ao usuário consultar o Banco de *Workflows* para recuperar, e possivelmente atualizar, os *workflows* e registros de meta-dados associados. Através do botão rotulado *Current Workflow* é possível consultar o *workflow* corrente, ou seja, o *workflow* correspondente à sessão de trabalho atual. Note-se que quando o usuário interage apenas com o WOODSS não existe um *workflow* corrente. Se um *workflow* está sendo mostrado na área de apresentação dos *workflows*, o botão rotulado *Meta-data* permite acessar o registro de meta-dados associado. O botão rotulado *New Activity* permite inserir uma atividade manual, e o botão rotulado *New Dependency* uma dependência temporal ou de execução. Os botões rotulados *Begin Selection* e *End Selection* permitem selecionar um *workflow* parcial para modificação e re-execução da forma descrita na seção 5.6. Por último, o botão *Quit* permite sair do WOODSS.

5.8.1 Traçado Gráfico de um *Workflow*

A figura 5.10 mostra também como é apresentado o *workflow* correspondente ao exemplo discutido na seção 5.5. Cada retângulo representa uma atividade (tupla da relação *Atividades*), e cada seta um arquivo (tupla da relação *Arquivos*) ou uma condição. Duas atividades estão ligadas através de uma seta se existe uma dependência entre elas.

Exemplo 5.8

Na figura 5.10, a atividade *Slope Calculation* está ligada à atividade *UserDefined Classification* porque a primeira gera como saída a imagem **Slopes**, usada como parâmetro de entrada pela segunda atividade. □

Cada atividade é rotulada com a descrição correspondente, extraída do atributo *name* da relação *Atividades*. Se a atividade foi executada no IDRISI, indica-se também o nome do módulo utilizado.

Setas indicam dependências e fluxo de dados. Se a seta representa uma dependência, seu rótulo depende do tipo de dependência. Uma dependência de dados é rotulada com o nome do arquivo, obtido da relação *Arquivos* através do identificador de arquivo (mantido na relação *Dependencias*). Os outros tipos de dependências são rotulados com uma condição, presente também na relação *Dependencias*. Por exemplo, pode existir a dependência temporal “*Após 45 dias*” entre duas atividades correspondentes à tomada de imagens de satélite para duas etapas consecutivas de uma cultura.

Exemplo 5.9

Na figura 5.10, a seta rotulada **LandUse** indica que as atividades *UserDefined Classification* utilizam a imagem chamada **LandUse** como parâmetro de entrada. Esta imagem não foi gerada por uma atividade pertencente ao *workflow*, podendo ter sido gerada por uma atividade documentada em um outro *workflow* no Banco de *Workflows*, ou não existir no WOODSS documentação de como esta foi obtida. □

5.8.2 Consultas

O módulo de Consultas permite consultar o Banco de *Workflows* para recuperar um *workflow* e determinar dados sobre as atividades, arquivos, dependências e meta-dados. Este módulo não foi totalmente implementado. A seguir, é fornecida uma descrição de sugestões de seu uso, com cópias de tela desenvolvidas para este fim.

O WOODSS apresenta a resposta a uma consulta através de uma janela mostrando uma lista dos *workflows* selecionados (vide figura 5.12), incluindo o título e a data de sua criação. Uma consulta sempre é iniciada pela seleção de um ou mais *workflows*, a partir da comparação de palavras chave fornecidas pelo usuário com a informação contida nos registros de meta-dados e alguns atributos do *workflow* propriamente dito.

Workflow Base Search

You can search the following workflow

Title:

Author:

Geographical Area:

Objective:

Cardinality:

Data Description:

Keywords:

Figura 5.11: Especificação de Consultas no WOODSS

As consultas ao Banco de *Workflows* são realizadas através do botão rotulado *Workflow Base* na janela principal da interface. Quando este botão é selecionado, a interface abre a janela apresentada na figura 5.11. O usuário fornece palavras chave para os campos desejados. Tal como foi discutido na seção 5.5, onde foram definidas as características do módulo de Consultas, esta pode ser realizada por campos específicos, como por exemplo *Author* ou *Objectives*. Note-se que o sistema permite a escolha de mais de um campo, sendo consultados diferentes partes do Banco de *Workflows* de forma simultânea.

Uma vez selecionado um *workflow*, o usuário pode solicitar detalhes sobre seus componentes, consultando suas atividades, arquivos e o registro de meta-dados. Quando uma atividade é selecionada, o WOODSS abre uma nova janela indicando todos os parâmetros da atividade.

Exemplo 5.10

A figura 5.13 ilustra a janela apresentada quando a atividade chamada *Slope Calculation* é consultada. Esta indica que a atividade foi realizada usando o módulo *Surface* do IDRISI, com opção *Slope*, utilizando como entrada a imagem nomeada *Relief*, e realizando os cálculos em *graus* e com fator de conversão *1*. A atividade gera como saída a imagem

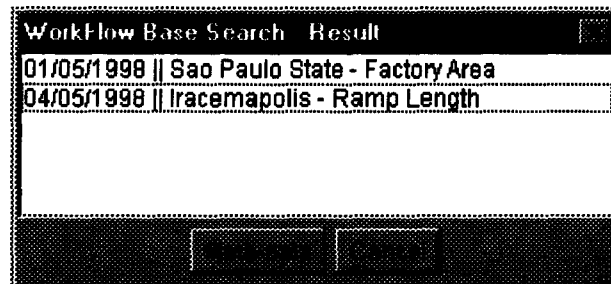


Figura 5.12: Resultado de uma Consulta ao Banco de *Workflows*

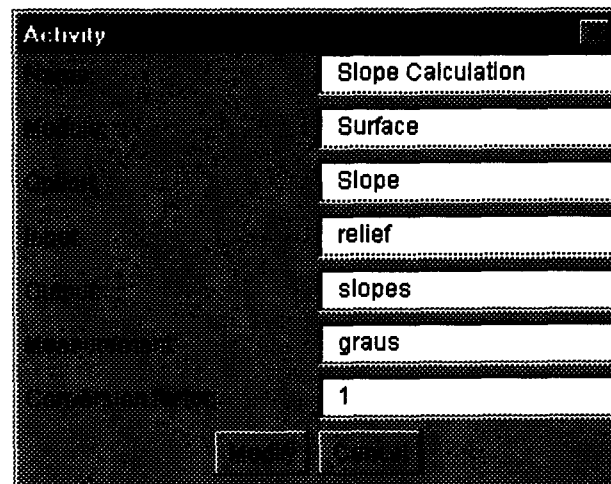


Figura 5.13: Consulta a uma Atividade



Figura 5.14: Consulta a uma Dependência de Dados

chamada *Slopes*. O usuário pode atualizar o nome de uma atividade acionando o botão *Modify*, que invoca o módulo de Atualizações.

A figura 5.14 mostra a janela correspondente ao arquivo chamado *Slopes*. A extensão é *img*, correspondente ao tipo de arquivo imagem. O título atribuído à imagem é *Sao Paulo State - Slopes*. O módulo de Atualizações é acessado através do botão *Modify* de cada janela. □

5.8.3 Re-execução de Atividades

A parte inferior da janela de interface é usada para a apresentação do *workflow* selecionado. Independentemente de se o *workflow* corresponde à sessão de trabalho atual, ou a uma sessão prévia, a interface permite selecionar parte deste *workflow* para sua re-execução no IDRISI.

A re-execução de atividades é iniciada a partir da seleção de atividades no modo Selecionar, ativado e desativado através dos botões *Begin Selection* e *End Selection*, respectivamente. Terminada a seleção das atividades, o sistema abre uma nova janela para apresentar o *workflow* parcial resultante. Os valores dos parâmetros das atividades podem ser mudados através de uma janela similar à apresentada quando as atividades são consultadas (vide figura 5.13). À diferença do modo *Consultar*, neste modo o usuário pode mudar os valores dos parâmetros das atividades e não apenas seu nome. O usuário também pode modificar nomes de arquivos. Ao final desta interação, o WOODSS gera um arquivo de macro que pode a seguir ser executado no IDRISI.

Exemplo 5.11

Considere-se o exemplo 5.6, onde foram selecionadas quatro atividades relacionadas à re-classificação das declividades e áreas ao redor de reservas ambientais, e a posterior combinação dos mapas resultantes.

A figura 5.15 ilustra a interface geral do WOODSS após a seleção das quatro atividades

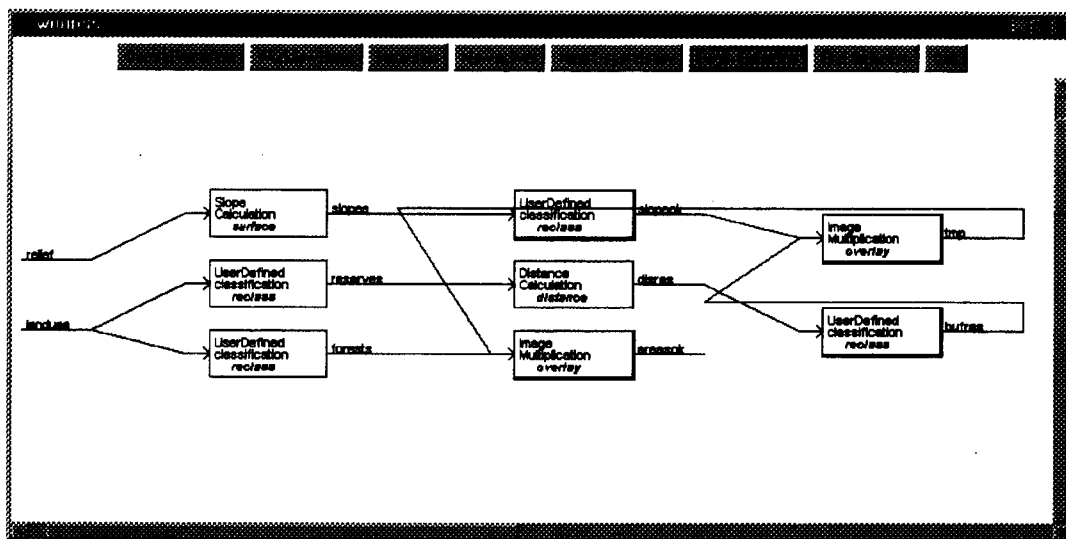


Figura 5.15: Seleção de Atividades

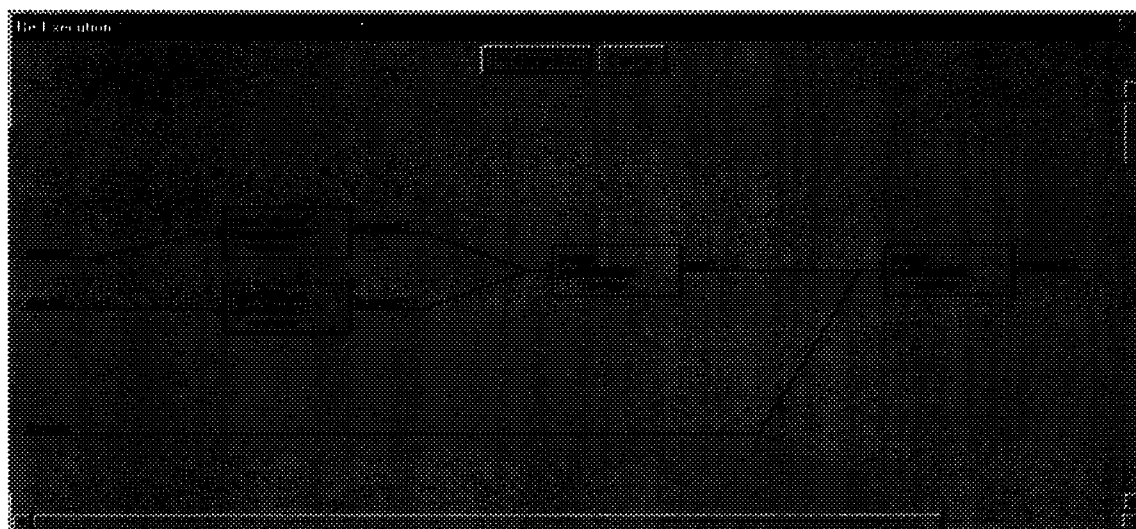


Figura 5.16: Re-execução de Atividades

a serem re-executadas. A figura 5.16 mostra a nova janela apresentada após terem sido mudados os valores dos parâmetros, incluindo os nomes dos arquivos usados. Através do botão *Re-executar* é possível criar a macro, que pode a seguir ser executada no IDRISI.

□

5.9 Resumo

Este capítulo descreveu os aspectos da implementação do WOODSS, realizada a partir do SIG IDRISI. Esta implementação foi desenvolvida usando a linguagem orientada a objetos JavaTM e o SGBD FoxProTM versão 5.0.

O Banco de *Workflows* do WOODSS manipulado pelo Gestor de *Workflows*, consiste de *workflows* mais registros de meta-dados associados. Cada *workflow* é implementado através de três relações: Atividades, Arquivos e Dependencias, e cada registro de meta-dados através de um arquivo de texto. A relação *Workflows* contém informação que permite o acesso, através do módulo de Consultas, aos *workflows* armazenados. O módulo de Atualizações permite, através de uma interface gráfica, editar descrições de atividades e arquivos e registros de meta-dados, além de inserir atividades manuais a um *workflow*.

O próximo capítulo mostra, através de uma aplicação real, o uso do WOODSS para a resolução de problemas decisórios na área de planejamento agrícola.

Capítulo 6

Exemplo de Uso do Sistema

O objetivo deste capítulo é apresentar um estudo de caso que mostra o uso do WOODSS para auxiliar processos decisórios na área de planejamento agro-ambiental. Para tal fim, o WOODSS foi utilizado no acompanhamento de parte das atividades realizadas por um usuário nesta área para a resolução do problema real específico de calcular a expectativa de erosão dos solos de uma região.

A seção 6.1 define o problema do cálculo da erosão dos solos para uma região geográfica específica utilizando o SIG IDRISI. A importância da erosão dos solos nas decisões de planejamento agro-ambiental motivou a escolha do exemplo. A seção 6.2 descreve o uso do WOODSS no acompanhamento e documentação das atividades realizadas para resolver este problema e discute como a informação armazenada pode ser re-aproveitada de forma simples.

6.1 Problema

O entendimento dos riscos da degradação do solo e de sua distribuição geográfica, bem como o conhecimento de onde efetivamente ocorrem os processos de degradação, é um requisito fundamental para fins de planejamento agro-ambiental [CBB⁺96]. A erosão pode inviabilizar práticas agrícolas e comprometer recursos hídricos, assoreando rios e reservatórios [FH96].

Neves descreve em [ND97] um método para a determinação da expectativa de erosão segundo a *Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)* [RNB96, CBB⁺96, FH96, CHRN96, Bac94]. Para tal fim, são usadas as funções previstas por SIGs para a geração e combinação de planos de informação (PI).

A Expectativa de Erosão (E) pode ser calculada a partir das seguintes fórmulas:

$$E = \frac{A}{AT} \quad (6.1)$$

$$A = PN \times C \times P \quad (6.2)$$

$$PN = R \times K \times FT \quad (6.3)$$

$$FT = 0.00984 \times L^{0.63} \times S^{1.18} \quad (6.4)$$

onde

A	=	perdas dos solos
AT	=	perdas toleráveis dos solos
PN	=	potencial natural de erosão
C	=	fator de uso/cobertura vegetal e manejo
P	=	fator de práticas conservacionistas
R	=	erosividade (poder erosivo das chuvas)
K	=	erodibilidade do solo (susceptibilidade à erosão)
FT	=	fator topográfico
L	=	comprimento de rampa
S	=	declividade

Supõe-se que os fatores K , R , C e P já foram calculados e estão disponíveis através de tabelas. O fator S é calculado a partir do modelo digital de elevação (MDE) utilizando o módulo *Surface* do IDRISI.

Em [RNB96] é descrito um algoritmo para o cálculo do mapa de comprimento de rampa (L) a partir do MDE utilizando o SIG IDRISI. A seguir são descritos os passos do algoritmo, junto aos nomes dos arquivos das imagens resultantes, com o objetivo de facilitar a referência a resultados de passos prévios.

1. Geração do mapa de declividades (*gslopes*) e de aspecto (*aspect*). Ambos são calculados em graus utilizando a função *Surface* do IDRISI.
2. Criação do mapa de declividades em percentagem (*pslopes*) usando o módulo *Surface*.
3. Re-classificação, através da função *Reclass*, do mapa de declividades calculado em percentagem (*pslopes*) para obter a imagem de classes de declividades *clslopes*. Os 7 intervalos definidos são: 0–3%, 3–6%, 6–12%, 12–18%, 18–25%, 25–33%, > 33%.
4. Re-classificação do mapa de aspecto (*aspect*) em 8 classes no intervalo 0° – 360°, utilizando a função *Reclass* e obtendo a imagem *claspect*. Os intervalos considerados são: 0–45°, 45–90°, 90–135°, 135–180°, 180–225°, 225–270°, 270–315°, 315–360°.

5. Tabulação cruzada dos mapas de classes de declividade (*clslopes*) e de classes de aspecto (*claspect*) para a geração de polígonos representando rampas. Esta operação é realizada através da função *Crosstab*, obtendo como resultado o mapa *rampas*.
6. Atribuição de identidade aos polígonos representando rampas (*rampas*) através da função *Group*, obtendo como resultado o mapa *plrampas*.
7. Cálculo do ângulo médio para cada polígono. Este passo é realizado utilizando a função *Extract* aplicada ao mapa de polígonos de rampas(*plrampas*) e ao mapa de classes de declividades em graus (*gslopes*). O resultado desta operação é um arquivo de valores chamado *medangle* contendo o ângulo médio para cada polígono. Estes valores devem ser posteriormente atribuídos ao mapa de rampas (*plrampas*) para obter uma imagem de ângulos de rampas chamada *ramangle* (denotados por α na fórmula).
8. Cálculo de diferenças entre a altura máxima e mínima de cada polígono. Para isso é aplicada a função *Extract* usando como entrada o mapa de polígonos (*plrampas*) e o modelo digital de elevação (*mdeirace*). O resultado desta operação é um arquivo de valores chamado *dfheight* contendo diferenças de altura correspondentes a cada polígono. Estes valores devem ser posteriormente atribuídos ao mapa de rampas (*plrampas*), para obter uma imagem de alturas de rampas (*htrampas*).
9. Transformação dos ângulos de rampas em radianos. Para tal fim, aplica-se a função *Transfor* à imagem *ramangle*, para obter a imagem *ramangra*.
10. Cálculo da função $\sin(\alpha)$ para cada α (ângulo médio de rampa). Isto é realizado através da função *Transfor* aplicada ao mapa *ramangra*, obtendo a imagem chamada *sinangle*.
11. Cálculo do comprimento de rampa através da fórmula $L = \Delta H / \sin(\alpha)$, onde ΔH representa o mapa de alturas de rampa (*htrampas*). Este passo é realizado aplicando a função *Overlay* (opção divisão) entre *htrampas* e *sinangle*, para obter o mapa de comprimento de rampa chamado *rplength* (parâmetro L na equação)

O mapa de comprimento de rampa (L), calculado através do algoritmo anterior, contém um conjunto de polígonos representando rampas com valores de células representando comprimentos de rampas. Este mapa é usado para obter o mapa *FT* (fator topográfico). Para isso, é preciso realizar as seguintes operações:

- (a) Calcular o fator $L^{0,63}$ usando a opção de função exponencial do módulo *Scalar*, a partir da imagem de comprimentos de rampas (*rplength*).

- (b) Calcular $0.00984 * L^{0,63}$ usando a opção de multiplicação por um valor constante do módulo *Scalar*.
- (c) Calcular o fator $S^{1,18}$ usando a opção de função exponencial do módulo *Scalar*, a partir do mapa de declividades.
- (d) Calcular o mapa final de fator topográfico superpondo os mapas obtidos nos passos (b) e (c) através da opção de multiplicação do módulo *Overlay*.

Para o cálculo do potencial natural de erosão (*PN*) é preciso atribuir os índices de erodibilidade dos solos (*K*) e de erosividade da chuva (*R*) às manchas de solos (ambos os dois casos através do módulo *Assign*). Os dois mapas resultantes e o mapa de fator topográfico (*FT*) são combinados (através de duas aplicações do módulo *Overlay*) em um único mapa de potencial natural de erosão (*PN*).

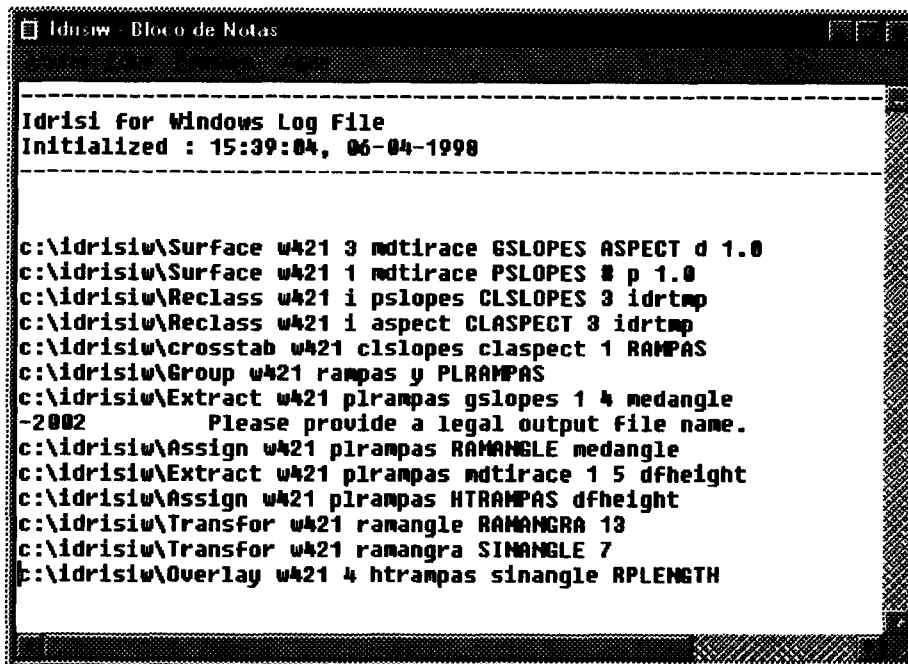
O fator de perdas de solos (*A*) é calculado de forma análoga à realizada para o cálculo de potencial natural de erosão. Isto é realizado atribuindo os índices de uso/cobertura vegetal e manejo (*C*) e de práticas conservacionistas (*P*) às manchas de solo, e combinando os dois mapas resultantes com o mapa de potencial natural de erosão (*PN*).

Por último, a expectativa de erosão (*E*) é calculada dividendo (através do módulo *Overlay*) o mapa correspondente ao fator de perdas de solos (*A*) com o mapa de perdas toleráveis dos solos (*AT*). Este último foi obtido atribuindo os valores de tolerância às perdas do solo às manchas dos solos correspondentes (usando o módulo *Assign*).

No cálculo do comprimento de rampa, [RNB96] identifica alguns problemas no uso do IDRISI. Menciona, por exemplo, limites no número de polígonos que podem ser gerados, não sendo suficientes para representar todos os polígonos encontrados em regiões geográficas com grandes variações de declividades. Embora estes problemas não possam ser sempre totalmente resolvidos, podem ser atenuados realizando algumas alterações nos mapas. Soluções parciais são a alteração da resolução das células ou a diminuição do número de intervalos de declividade ou de aspecto do terreno, e a re-execução da seqüência de operações mencionadas usando os novos mapas.

6.2 Uso do WOODSS

O WOODSS foi usado para acompanhar as atividades executadas no IDRISI, descritas na seção anterior. Para exemplificar seu uso foi escolhido o sub-problema de calcular o fator *L* (representando o mapa de comprimento de rampa) de acordo com o algoritmo descrito na seção prévia. A figura 6.1 mostra o *log* correspondente gerado pelo IDRISI. A partir deste *log*, o WOODSS cria as relações Atividades, Arquivos e Dependencias. As figuras 6.2 (a), 6.2 (b) e 6.2 (c) apresentam, respectivamente, estas relações. Através do módulo de



```

Idrisi for Windows Log File
Initialized : 15:39:04, 06-04-1998

c:\idrisi\Surface w421 3 mdtirace GSLOPES ASPECT d 1.0
c:\idrisi\Surface w421 1 mdtirace PSLOPES # p 1.0
c:\idrisi\Reclass w421 i pslopes CLSLOPES 3 idrtmp
c:\idrisi\Reclass w421 i aspect CLASPECT 3 idrtmp
c:\idrisi\crosstab w421 clslopes claspect 1 RAMPAS
c:\idrisi\Group w421 rampas y PLRAMPAS
c:\idrisi\Extract w421 plrampas gslopes 1 4 medangle
-2002 Please provide a legal output file name.
c:\idrisi\Assign w421 plrampas RAMANGLE medangle
c:\idrisi\Extract w421 plrampas mdtirace 1 5 dfheight
c:\idrisi\Assign w421 plrampas HTRAMPAS dfheight
c:\idrisi\Transfor w421 ramangle RAMANGRA 13
c:\idrisi\Transfor w421 ramangra SINANGLE 7
c:\idrisi\Overlay w421 4 htrampas sinangle RPLENGTH

```

Figura 6.1: Arquivo de *Log* gerado pelo IDRISI

Atualizações o usuário pode editar o registro de meta-dados associado a este *workflow*. A figura 6.3 ilustra um exemplo de registro de meta-dados fornecido pelo usuário.

Em qualquer momento durante a resolução do problema, o usuário pode acessar o módulo de Consultas do WOODSS para visualizar o *workflow* corrente. Desta forma, o sistema provê ao usuário uma visão global das atividades realizadas e dos dados utilizados. Esta informação ajuda o especialista a determinar seus próximos passos no processo decisório. Por exemplo, a consulta permite visualizar os nomes dados às imagens intermediárias obtidas e assim identificar rapidamente a imagem que deve ser utilizada dependendo de como ela foi gerada. A figura 6.4 mostra parte do *workflow* criado pelo WOODSS na seção de trabalho.

Como foi mencionado anteriormente, podem ocorrer alguns problemas durante o uso do IDRISI para calcular o mapa de comprimento de rampa. O WOODSS pode ser usado para auxiliar o usuário na resolução destes problemas. Através da facilidade de apoio ao processo decisório atual com base no *workflow* corrente, o usuário pode selecionar as atividades que deseja re-executar, realizar mudanças nos seus parâmetros e solicitar ao WOODSS a re-execução dessas atividades (possivelmente modificadas). Por exemplo, em terrenos muito acidentados pode ser necessário definir um número menor de intervalos de declividades ou aspecto, devido às limitações no número de polígonos manipulados pelo

Workflow: Atividades							
	1	Both Calculation		surface	1#	2#3#	3@d@1.0@
	2	Slope Calculation		surface	1#	4#	1@p@1.0@
	3	FileMode classification		reclass	4#6#	5#	i@3@
	4	FileMode classification		reclass	3#8#	7#	i@3@
	5	Cross classification		crossstab	5#7#	9#	1@
	6	Groups Determination		group	9#	10#	v@
	7	Average Extraction		extract	10#2#	11#	1@4@
	8	Features Assignment		assign	10#11#	12#	NULL
	9	Range Extraction		extract	10#1#	13#	1@5@
	10	Features Assignment		assign	10#13#	14#	NULL
	11	radiant(x) Transformation		transfer	12#	15#	13@
	12	sin(x) Transformation		transfer	15#	16#	7@
	13	Image Ratio		overlay	14#16#	17#	4@

(a) Relação Atividades

Workflow: Arquivos			
1	mditrace	img	Modelo Digital de Elevacao - Iracemapolis
2	gslopes	img	Iracemapolis - Slopes in degrees
3	aspect	img	Iracemapolis - Aspect in degrees
4	pslopes	img	Iracemapolis - Slopes in percentage
5	clslopes	img	Iracemapolis - Slopes Classes
6	slsclass	rcd	Iracemapolis - Slope Class Values
7	clsaspect	img	Iracemapolis - Aspect Classes
8	aspclass	rcd	Iracemapolis - Aspect Class Values
9	rampas	img	NULL
10	plrampas	img	Iracemapolis - Ramp Groups
11	medangle	val	NULL
12	ramangle	img	Iracemapolis - Ramp Angles
13	dfheight	val	NULL
14	htrampas	img	Iracemapolis - Ramp Height
15	ramangle	img	NULL
16	sinangle	img	Iracemapolis - Sin (angles)
17	rplength	img	Iracemapolis - Ramp Length

(b) Relação Arquivos

Workflow: Dependências			
2	3/D	4	
1	4/D	3	
3	5/D	5	
4	5/D	7	
5	6/D	9	
6	7/D	10	
1	7/D	2	
6	8/D	10	
7	8/D	11	
6	9/D	10	
6	10/D	10	
9	10/D	13	
8	11/D	12	
11	12/D	15	
10	13/D	14	
12	13/D	16	

(c) Relação Dependências

Figura 6.2: Workflow: Atividades, Arquivos e Dependências

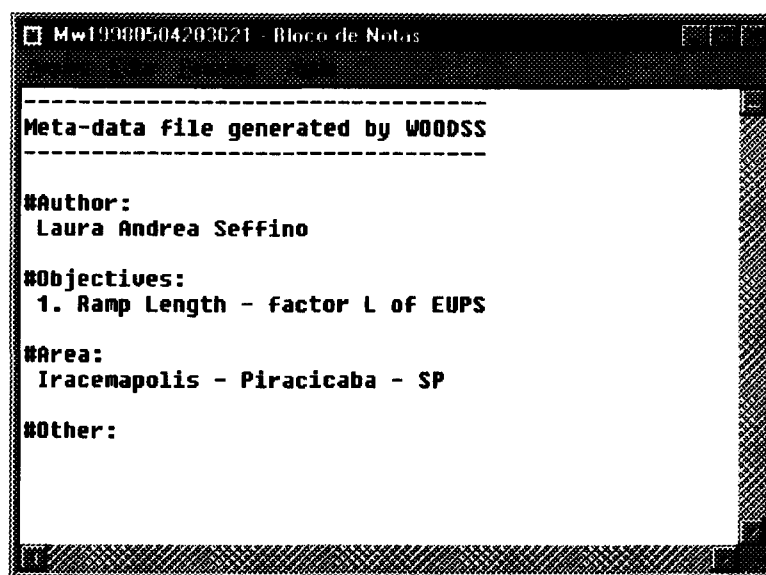
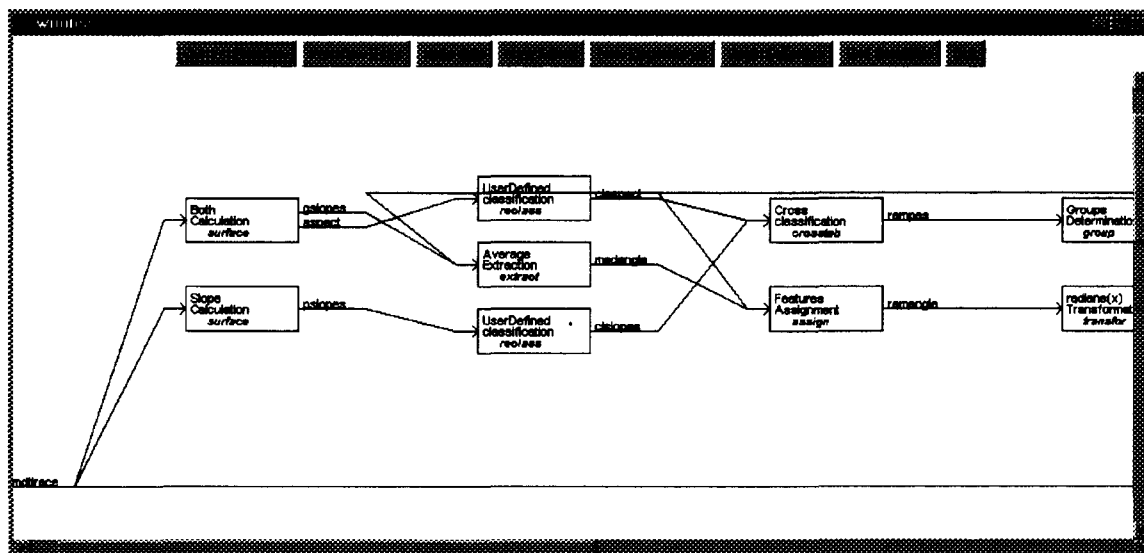


Figura 6.3: Registro de Meta-dados

Figura 6.4: Parte do *Workflow* correspondente ao Cálculo do Comprimento de Rampa

IDRISI. Desta forma, o sistema pode ser usado para re-executar automaticamente parte das operações já executadas com novos intervalos.

O algoritmo de cálculo de comprimento de rampa e as equações de expectativa de erosão podem ser usados em diferentes áreas geográficas. Neste caso, o WOODSS permite re-aproveitar os passos executados: dada uma nova área geográfica de estudo, o usuário pode mudar apenas os nomes dos dados, e possivelmente os intervalos de classificação de declividades ou aspecto, e solicitar a re-execução do *workflow* armazenado. Note-se que o usuário pode acessar aos *workflows* previamente documentados através de uma consulta por palavras chaves ao Banco de *Workflows*.

6.3 Resumo

O capítulo descreveu como o WOODSS pode ser usado pelos especialistas da área de planejamento agro-ambiental como uma ferramenta que auxilia seus processos decisórios. O exemplo apresentado consiste na utilização do WOODSS na aplicação real de calcular a expectativa de erosão, como parte do problema maior de avaliar a aptidão agrícola das terras de uma região.

O próximo capítulo apresenta conclusões e contribuições desta dissertação e propõe algumas extensões ao modelo conceitual do WOODSS e à sua implementação.

Capítulo 7

Considerações Finais

Este capítulo apresenta conclusões e contribuições do trabalho de dissertação, e discute possíveis extensões ao modelo conceitual e à implementação do WOODSS.

7.1 Conclusões e Contribuições

A dissertação apresentou o sistema WOODSS, um Sistema Espacial de Apoio ao Processo Decisório que visa auxiliar especialistas na área de planejamento agro-ambiental a resolver problemas decisórios. Para tal fim, o WOODSS acompanha as atividades executadas pelo usuário no SIG IDRISI, documentando-as através de *workflows*.

Os dados armazenados permitem manter um histórico dos processos decisórios que levaram à tomada de decisões e ter uma visão global do estado atual de um processo decisório (atividades executadas e dados utilizados). A informação sobre resoluções de processos decisórios prévios pode ser utilizada para (1) guiar problemas decisórios similares e (2) permitir re-execuções de seqüências de operações previamente executadas. A implementação apresentada na dissertação considera a re-execução automática de operações realizadas no IDRISI, mas pode ser estendida para incluir o monitoramento de operações executadas em outros SIG.

A dissertação apresenta um trabalho original de especificação e implementação de um sistema que utiliza *workflows* para documentar processos decisórios na área de geoprocessamento. Embora existam especificações e implementações parciais de Sistemas de *Workflows* para aplicações geográficas (por exemplo a arquitetura WASA [WVM96, MVW96a, VW96, MVW96b]), estas não estão voltadas ao monitoramento de operações como o mecanismo básico de especificação de *workflows*, sendo apenas orientadas ao suporte à execução de *workflows* previamente especificados pelo usuário.

O sistema WOODSS será disponibilizado aos especialistas do Departamento de Planejamento e Produção Agropecuária (DPLPAG) da Faculdade de Engenharia Agrícola da

UNICAMP. Especificamente, o WOODSS será utilizado no acompanhamento e documentação dos processos de resolução de problemas decisórios e principalmente na re-execução de atividades similares, situação comumente apresentada na resolução dos problemas na área. Além disso, está sendo analisada a implantação do WOODSS como parte do material de apoio de um curso sobre o uso do SIG IDRISI como uma ferramenta de apoio à resolução dos problemas na área. Neste caso, o WOODSS pode ajudar dando uma visão geral dos exemplos apresentados para sua repetição por parte dos alunos.

As principais contribuições são:

1. especificação de um Sistema Espacial de Apoio ao Processo Decisório baseado em *workflows*, que combina uma arquitetura de DSS, uma metodologia de desenvolvimento de aplicações geográficas ambientais e a teoria de *workflows* científicos;
2. desenvolvimento do sistema WOODSS usando esta arquitetura, baseado em um SIG real; e
3. criação de uma ferramenta de uso prático em diversas situações, mostrando a viabilidade das idéias da dissertação através de exemplos de aplicações decisórias da vida real.

7.2 Avaliação dos Resultados Experimentais

A especificação e implementação do WOODSS foi acompanhada por entrevistas com especialistas do DPLPAG da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. Além disso, algumas experiências foram realizadas para analisar o uso do WOODSS na documentação e re-aproveitamento dos processos decisórios dos usuários na área. O capítulo 6 mostra a aplicação do WOODSS no cálculo da expectativa de erosão dos solos, uma das variáveis que deve ser considerada na avaliação da aptidão agrícola das terras de uma região.

O mecanismo de re-execução de atividades mostrou-se adequado. A necessidade do usuário de executar a macro criada pelo WOODSS no IDRISI não é considerada uma desvantagem do sistema, se comparado à maneira manual na qual estas re-execuções deviam ser realizadas sem ajuda do WOODSS.

A apresentação gráfica das atividades e dependências entre as atividades, junto aos mecanismos de consultas das atividades e arquivos no próprio diagrama de *workflow* é adequada, permitindo ter uma visão global das operações executadas e dos dados utilizados.

Dada a ausência de um grande volume de *workflows* no Banco de *Workflows*, não foi possível testar de forma definitiva o módulo de Consultas. No entanto, as poucas experiências realizadas mostraram resultados positivos. Na implementação atual, a velocidade

de processamento das consultas pode ser comprometida na busca sobre grandes Bancos de *Workflows*. Uma extensão ao sistema é aumentar o Banco de *Workflows* com índices de acesso.

É possível que opções de ajuda tivessem auxiliado na interpretação das distintas facilidades do WOODSS, resultando em um melhor uso do sistema. Tais opções poderiam, por exemplo, permitir o acesso à facilidade de ajuda durante a especificação de consultas. Esta ajuda deveria explicar as convenções usadas e a informação consultada no *workflow* ou no registro de meta-dados, dependendo do campo de consulta especificado.

7.3 Extensões

Esta seção discute algumas extensões ao trabalho da dissertação. Embora o WOODSS implemente uma arquitetura básica que se mostrou de grande utilidade nos experimentos realizados, muito trabalho precisa ser feito para se obter um ambiente ideal de apoio aos processos decisórios. As extensões ao WOODSS podem ser consideradas sob dois pontos de vista: extensões ao modelo conceitual e extensões à implementação atual.

7.3.1 Extensões à Implementação

A implementação do WOODSS documentada nesta dissertação pode ser estendida em vários pontos, destacando-se os seguintes:

- A implementação do WOODSS considera um conjunto de três relações e um arquivo de meta-dados para representar cada *workflow*. O ideal seria armazenar todos os *workflows* nas mesmas três relações. Esta configuração exige informação extra para determinar as atividades correspondentes a cada *workflow*, mas facilita a combinação de *workflows* e permite processar consultas ao Banco de *Workflows* de forma mais eficiente.
- Extensão das facilidades do módulo de Atualizações para permitir a combinação de dois ou mais *workflows* em um único *workflow*. Isto pode ser requerido quando subpartes de um problema mais geral são resolvidas em sessões de trabalho diferentes.
- Extensão do módulo de Atualizações para possibilitar a estruturação de *workflows*. Esta facilidade permite obter *workflows* “hierárquicos”, onde as atividades de mais alto nível são atividades abstratas e as atividades de mais baixo nível aquelas realmente executadas no SIG. A partir deste mecanismo, é possível obter um *workflow* genérico para a resolução de um problema, que pode ser refinado em diferentes *workflows* representando a resolução do problema em SIG distintos. Isto pode ser aplicado na resolução do problema apresentado no exemplo 3.1 na página 25.

- Interceptação dos processos decisórios de usuários de outros SIG além do IDRISI (ou, por exemplo, de programas de tratamento de imagens), quer através de arquivos de *log*, quer através do monitoramento direto das operações sobre a interface do SIG. Um primeiro estudo do SIG ARC/INFO [ESRI95] permitiu identificar a existência de um arquivo de *log* das atividades (de formato análogo ao do IDRISI). Usuários do ARC/INFO em outras áreas de aplicação reconhecem a importância de dispor de mecanismos similares aos encontrados no WOODSS para acompanhar suas tarefas. Um exemplo é a espacialização dos dados; esta etapa é uma componente de muitos dos problemas e requer a repetição das mesmas seqüências de operações para realizar conversões no formato de distintos conjuntos de dados.
- Aperfeiçoamento do mecanismo de busca. Com o objetivo de diminuir o tempo de processamento das consultas é possível usar índices de acesso à informação e dispor de apenas uma relação para todos os *workflows*, tal como foi discutido.
- Implementação de um esquema de processamento de consultas “por similaridade” em alguns campos de busca, considerando o resultado da comparação positivo quando palavras com poucas diferenças são encontradas (por exemplo, *declividades* e *declividade* no atributo *title* de um arquivo).
- Segurança dos dados. Não há proteção ao Banco de *Workflows*. Uma possibilidade consiste em incluir um mecanismo de senhas que permita a edição dos *workflows* e meta-dados apenas a usuários autorizados (por exemplo, o autor de um *workflow*).
- Opções de ajuda sensíveis ao contexto para auxiliar na utilização dos mecanismos que o WOODSS oferece.
- Disponibilização do ambiente WOODSS via *Internet*, permitindo introduzir melhoras à implementação sem necessidade de re-distribuir novas versões aos usuários.

7.3.2 Extensões ao Modelo Conceitual

Esta seção discute algumas extensões ao modelo conceitual do WOODSS. Estas se refletirão em extensões à implementação.

- Outros tipos de meta-dados. A arquitetura apresentada no capítulo 4 propõe a especificação de apenas um registro de meta-dados associado a cada *workflow*. Uma extensão é o estudo de outros tipos de meta-dados como, por exemplo, sucesso/insucesso do *workflow*, sua viabilidade, aspectos temporais, etc. Desta forma, o Banco de *Workflows* seria dividido em: (1) Banco de *Workflows* e (2) Banco de Meta-dados.

- A análise de dependências de dados determinadas por outros tipos de dados além de arquivos (por exemplo, outros tipos de variáveis).
- Aplicação do WOODSS em outras áreas além do planejamento agro-ambiental. As idéias discutidas na dissertação são suficientemente gerais para serem aplicadas em outras áreas. Na área florestal, por exemplo, um ponto importante é a análise dos efeitos da implantação de novas técnicas em áreas menores para posteriormente extrapolar os resultados para áreas maiores. Em [Bar94] é mencionado que para tal fim são cadastrados espacialmente todos os experimentos realizados, com o objetivo de analisar as variáveis que influenciam o processo e localizar assim áreas análogas às usadas nos experimentos para maximizar resultados. O uso do WOODSS seria de grande utilidade nesta análise.
- Realização de mapeamentos entre distintos SIG. Uma idéia possível seria tentar partir do *workflow* de atividades executadas em um SIG, passando possivelmente por um *workflow* formado por atividades abstratas, e gerar um conjunto de atividades equivalente ao anterior para ser executado em um outro SIG.
- Desenvolvimento de um Sistema de *Workflows* mais sofisticado, que considere a re-execução de atividades manuais, provendo mecanismos de disparo de atividades, sincronismo, controle de concorrência no acesso aos *workflows* e seleção de agentes, dentre outros.
- Estudo de mecanismos para o gerenciamento de versões. O uso de versões permite manter a história das atualizações realizadas aos *workflows* e evitar o armazenamento de seqüências repetidas de operações. Isto ocorre atualmente com as seqüências de atividades re-executadas, que são interpretadas como novas operações desde o ponto de vista da sua interceptação.

Apêndice A

Módulos do IDRISI utilizados

Este apêndice apresenta a funcionalidade básica dos módulos do SIG IDRISI [Eas97a, Eas97b, CHPR97] considerados na implementação do WOODSS.

AREA Gera uma imagem atribuindo a cada célula a área da classe (ou categoria) à qual pertence. Outros formatos de saída (além de imagem) são tabela e arquivo de valores de atributos.

ASSIGN Constrói uma imagem associando pontos geográficos definidos em uma imagem de *features* com atributos definidos em um arquivo de valores. O uso de ASSIGN combinado com o módulo *EDIT* é equivalente ao uso do módulo RECLASS.

CLUSTER Realiza a classificação não supervisionada de imagens baseada na informação contida em imagens de composição colorida. Este módulo é usado para a interpretação automática (sem amostras) de imagens de satélite.

COMPOSIT Gera uma imagem representando uma composição binária colorida (incluindo composições em falsa cor) combinando três bandas de uma imagem binária de *bytes*.

CROSSTAB Consiste de duas operações: tabulação cruzada e classificação cruzada. A primeira compara as categorias de duas imagens e gera uma tabela contendo o número de células de cada combinação. O resultado da classificação cruzada é uma imagem mostrando todas as combinações das categorias de células das duas imagens.

DISTANCE Calcula a distância euclidiana de cada célula de uma imagem ao conjunto de *features* alvo mais próximo.

EXTRACT Extrai estatísticas de resumo para os valores em cada categoria de uma imagem analisada para cada identificador na imagem de definição de *features*. Exemplos de resumos são soma, média, mediana, máximo e desviação estandar. A saída pode ser em formato tabular ou um arquivo de valores de atributos.

FILTER Realça, suaviza ou elimina diferenças entre as células de uma imagem. Os filtros estão baseados em uma janela móvel aplicada em toda a imagem, e são aplicados modificando o valor da célula central de acordo com os valores das células vizinhas na imagem original. Exemplos de filtros são média, modo e quadrados adaptativos.

GROUP Determina grupos contíguos de células de uma imagem com valores idênticos. Para cada grupo, o módulo atribui um identificador único.

HISTO Produz um histograma de distribuição da frequência das células de uma imagem em cada intervalo (classe). A saída pode ser em forma de imagem ou tabular, e podem se incluir algumas estatísticas básicas sobre o arquivo.

INITIAL Gera uma imagem com um valor de célula constante. Os parâmetros espaciais da imagem podem ser recuperados a partir de uma imagem existente, ou ser definidos individualmente.

LINERAS Converte um arquivo vetorial de linhas em uma imagem matricial.

MAKESIG Gera assinaturas a partir da informação mantida em imagens de sensoramento remoto para treinar polígonos. As assinaturas são usadas na classificação não supervisionada das imagens de sensoramento remoto.

ORTHO Produz uma imagem tridimensional em perspectiva ortográfica a partir de uma imagem (em geral, um modelo de elevação do terreno). Opcionalmente pode incluir uma imagem *drape*.

OVERLAY Produz uma nova imagem resultante de somar, subtrair, multiplicar, dividir, calcular exponenciação, máximo, mínimo, radio normalizado ou cobertura entre duas imagens. As operações lógicas *AND* e *OR* sobre imagens binárias podem ser aplicadas através de multiplicação e cálculo de máximo. Outras operações *booleanas* podem ser calculadas combinando as superposições de imagens suportadas.

PCA Realiza Análise de Componentes Principais sobre um conjunto de bandas de imagens e produz um novo conjunto de imagens.

PERIM Cria uma imagem atribuindo a cada célula o perímetro da classe à qual a célula pertence. Outros formatos de saída suportados são tabular e arquivo de valores de atributos.

POINTRAS Converte um arquivo vetorial de pontos em uma imagem matricial.

POLYRAS Converte um arquivo vetorial de polígonos em uma imagem matricial.

PROJECT Converte imagens matriciais e arquivos vetoriais desde um sistema de referência a outro. Exemplos de transformações suportadas são *Mercator*, cônica e estereográfica.

RECLASS Classifica as células de uma imagem ou arquivo de valores de atributos em novas categorias. As células são divididas em intervalos iguais ou aplicando limites de intervalos definidos pelo usuário. Este módulo é tipicamente usado para obter mapas *booleanos* de áreas que satisfazem condições específicas dadas.

RESAMPLE Mapeamento espacial dos dados de uma imagem ou arquivo de valores de atributos desde um sistema de referência a outro sistema, utilizando equações polinomiais. O IDRISI provê mapeos cúbicos, quadráticos e lineares entre os sistemas, junto a interpolações bilineares e de vizinho mais próximo. Este módulo é usado para realizar correção geométrica das imagens.

SCALAR Cria uma imagem atribuindo a cada célula o valor resultante de somar, subtrair, multiplicar, dividir ou calcular exponenciação do valor de cada célula de uma imagem por uma constante.

SEPARATE Separa uma imagem binária de *bytes* associada a uma paleta de cores em suas componentes RGB.

STRETCH Re-escala os valores de uma imagem a um intervalo de valores especificado. Esta operação é realizada através de contraste linear, contraste linear com saturação ou equalização de histograma. O objetivo é realçar imagens para melhorar sua visualização.

SURFACE Produz uma imagem de declividades ou aspecto (em graus ou percentagem) ou de efeito de sombras, a partir de um modelo de elevação do terreno.

TRANSFOR Gera uma imagem atribuindo a cada célula o valor resultante de transformar cada célula de uma imagem por uma das catorze operações suportadas: logaritmo natural, anti-logaritmo, recíproco, absoluto, quadrado, radianos, graus e diversas funções trigonométricas.

Bibliografia

- [AN89] M. Alavi e H. A. Napier. *An Experiment in Applying the Adaptive Design Approach to DSS Development*, capítulo 5, pp. 82–92. In [RHSW89], 2 edição, 1989.
- [Ara97] M. S. Araujo. Diagnóstico de Uso e Aptidão Agrícola das Terras da Região de Una (BA) utilizando Técnicas de Geoprocessamento. Master's thesis, Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, julho de 1997.
- [Arm] Construction Engineering Research Laboratories US Army. Geographic resources analysis support system (GRASS). <http://www.cecer.army.mil/grass/GRASS.main.html>.
- [Bac94] A. A. A. Bacellar. Estudo da Erosão na Microbacia Hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha - Município de Iracemápolis utilizando um Sistema de Informação Geográfica. Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, dezembro de 1994.
- [Bar94] S. M. Barddal. A Utilização do SIG na Kablin. In *GIS BRASIL 94. Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento*, Curitiba, Paraná, Brasil, outubro de 1994.
- [Bar96] P. Barthelmess. Sistemas de Workflow: Análise da Área e Proposta de Modelo. Master's thesis, IMECC- UNICAMP, 1996.
- [BD96] M. Batty e P. J. Densham. Decision Support, GIS and Urban Planning. Centre for Advanced Spatial Analysis, janeiro de 1996.
- [CBB⁺96] A. Cavalli, E. S. Bias, E. Bucci, S. Sampaio, e S. F. Pinto. Avaliação das Perdas por Erosão dos Solos da Microbacia do Ribeirão Jacutinga (Rio Claro - SP), através de Sistema de Informação Geográfica. In *I Simpósio de Usuários Idrisi. Caderno de Resumos*, novembro de 1996.

- [CCH⁺96] G. Câmara, M. A. Casanova, A. S. Hemerly, G. Magalhães, e C. B. Medeiros. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. Instituto de Computação-UNICAMP, 1996.
- [CH97a] G. Cornell e C. S. Horstmann. *Core Java*. The SunSoft Press Java Series, 2 edição, 1997.
- [CH97b] G. Cornell e C. S. Horstmann. *Database Connectivity: JDBC*, capítulo 14, pp. 603–641. In [CH97a], 2 edição, 1997.
- [CHPR97] A. Cavalieri, E. Hamada, G. Q. Pellegrino, e J. V. Rocha. Curso Tutorial do IDRISI. Apostila, agosto de 1997.
- [CHRN96] A. Cavalieri, E. Hamada, J. V. Rocha, e F. Lombardi Neto. Estudos de Degradação do Solo com o Uso do SIG-IDRISI. In *I Simpósio de Usuários IDRISI. Caderno de Resumos*, novembro de 1996.
- [Coa96] Workflow Management Coalition. Terminology & glossary. Technical Report WPMC-TC-1011, Workflow Management Coalition, junho de 1996.
- [Cor94] L. B. Cornacchioni. Utilização do G.I.S. em Recursos Naturais na Cia. Suzano de Papel e Celulose. In *GIS BRASIL 94. Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento*, Curitiba, Paraná, Brasil, 1994.
- [CWP95] M. D. Crossland, B. E. Wynne, e W. C. Perkins. Spatial decision support systems: An overview of technology and a test of efficacy. *Decision Support Systems*, 14:219–235, 1995.
- [Den91] P. J. Densham. Spatial Decision Support Systems. In *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, volume 1, pp. 403–412. Longman Scientific & Technical, 1991.
- [DG90] P. J. Densham e M. F. Goodchild. Research Initiative Six. Spatial Decision Support Systems. Scientific Report for the Specialist Meeting. Technical Report 90-5, NCGIA National Center for Geographic Information and Analysis, março de 1990.
- [Eas97a] J. R. Eastman. IDRISI for Windows. Tutorial Exercises, janeiro de 1997.
- [Eas97b] J. R. Eastman. *IDRISI for Windows. User's Guide, versão 2.0*. janeiro de 1997.

- [EN94] R. Elmasri e S. Navathe. *Fundamentals of Database Systems*. Addison-Wesley Publishing Company, 2 edição, 1994.
- [ESRI95] INC. Environmental Systems Research Institute, editor. *Understanding GIS, The ARC/INFO Method*. John Wiley & Sons, Inc., 3 edição, 1995.
- [FH96] J. Ferrari e S. Hiruma. Utilização do Software IDRISI no Mapeamento da Suscetibilidade à Erosão. In *I Simpósio de Usuários IDRISI. Caderno de Resumos*, novembro de 1996.
- [Fla97] D. Flanagan. *Java in a Nutshell. A Desktop Quick Reference*. O'Reilly & Associates, Inc., 2 edição, maio de 1997.
- [HCF97] G. Hamilton, R. Cattell, e M. Fisher. *JDBC Database Access with Java: A Tutorial and Annotated Reference*. Addison-Wesley Pub Co, agosto de 1997.
- [Hog89] J. T. Hogue. *A Framework for the Examination of Management Involvement in Decision Support Systems*, capítulo 3, pp. 49–64. In [RHSW89], 2 edição, 1989.
- [HOT94] I. Heywood, J. Oliver, e S. Tomlinson. Building and Exploratory Multi Criteria Modelling Environment for Spatial Decision Support. In *Proceedings of the Fifth European Conference and Exhibition on Geographic Information Systems, EGIS'94*, volume 1, pp. 632–641, Utrecht, 1994.
- [HRSM97a] P. Heller, S. Roberts, P. Seymour, e T. MCGinn. *Database Connectivity (JDBC)*, capítulo 11, pp. 595–644. In [HRSM97b], 1997.
- [HRSM97b] P. Heller, S. Roberts, P. Seymour, e T. MCGinn. *Java 1.1. Developer's Handbook*. Sybex Inc., 1997.
- [Jan95] P. Jankowski. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(3):251–273, 1995.
- [Kee95] P. Keenan. Using a GIS as a DSS Generator. Working Paper MIS 95-9, Department of Management Information Systems, Faculty of Commerce, University College Dublin, 1995.
- [LCM96] A. Laaribi, J. J. Chevallier, e J. M. Martel. A Spatial Decision Aid: A Multicriterion Evaluation Approach. Document de Travail 96 - 45, L'Université Laval, 1996.

- [MGR93] D. Maguire, M. Goodchild, e D. Rhind, editores. *Geographical Information Systems - volume II - Applications*. John Wiley and Sons, 2 edição, 1993.
- [Mit86] S. Mittra. *Decision Support Systems: Tools and Techniques*. John Wiley & Sons, Inc., 1986.
- [MVW96a] C. B. Medeiros, G. Vossen, e M. Weske. GEO-WASA – Combining GIS Technology with Workflow Management. Technical Report 02/96-I, University of Münster, Germany, 1996.
- [MVW96b] J. Meidanis, G. Vossen, e M. Weske. Using Workflow Management in DNA Sequencing. In *Proceedings of the First IFCIS International Conference in Cooperative Information Systems*, 1996.
- [ND97] M. C. Neves e P. L. Donzeli. Expectativa de Erosão para a Microbacia do Córrego Espreado. In *II Simpósio de Usuários IDRISI. Caderno de Resumos*, agosto de 1997.
- [Nie94] O. A. Nielsen. Using GIS in Denmark for Traffic Planning and Decision Support. *Journal of Advanced Transportation*, 29(3), 1994.
- [Oli97] J. L. Oliveira. *Projeto e Implementação de Interfaces para Sistemas de Aplicações Geográficas*. PhD thesis, Instituto de Computação. Universidade Estadual de Campinas, dezembro de 1997.
- [Pir97] F. Pires. *Um Ambiente Computacional para Modelagem de Aplicações Ambientais*. PhD thesis, Instituto de Computação. Universidade Estadual de Campinas, dezembro de 1997.
- [RHS89] Jr R. H. Sprague. *A framework for the Development of Decision Support Systems*, capítulo 1, pp. 9–35. In [RHSW89], 2 edição, 1989.
- [RHSW89] Jr. R. H. Sprague e H. J. Watson. *Decision Support Systems: Putting Theory into Practice*. Prentice Hall, 2 edição, 1989.
- [RNB96] J. V. Rocha, F. Lombardi Neto, e A. Bacellar. Metodologia para Determinação do Fator Comprimento de Rampa (L) para a Equação Universal de Perdas de Solos. In *I Simpósio de Usuários IDRISI. Caderno de Resumos*, novembro de 1996.
- [Roc94] H. O. Rocha. Aplicações de Geoprocessamento na Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras. In *GIS BRASIL 94. Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento*, Curitiba, Paraná, Brasil, outubro de 1994.

- [RS95] M. Rusinkiewicz e A. Sheth. Specification and Execution of Transactional Workflows. In W. Kim, editor, *Modern Database Systems. The Object Model, Interoperability and Beyond*, pp. 592–620. ACM Press, 1995.
- [SHL97] SHL Systemhouse. *VISION* Concepts*, janeiro de 1997.
- [SRYM98] L. Seffino, J. V. Rocha, Bei Yi, e C. B. Medeiros. Um Sistema de Apoio à Decisão para a Agricultura. In *GIS BRASIL 98. IV Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina*, Curitiba, Paraná, Brasil, maio de 1998.
- [VWW96] G. Vossen, M. Weske, e G. Wittkowski. Dynamic Workflow Management on the Web. Technical report, University of Münster, Germany, 1996.
- [WRHS89] H. J. Watson e Jr R. H. Sprague. *The Components of an Architecture for DSS*, capítulo 7, pp. 107–117. In [RHSW89], 2 edição, 1989.
- [WVM96] M. Weske, G. Vossen, e C. B. Medeiros. Scientific Workflow Management: WASA Architecture and Applications. Technical Report 03/96-I, University of Münster, Germany, 1996.
- [WVM98] M. Weske, G. Vossen, e C. B. Medeiros. Workflow Management in Geoprocessing applications. Technical Report 04/98-I, University of Münster, Germany, fevereiro de 1998.
- [WWVM96] J. Wainer, M. Weske, G. Vossen, e C. B. Medeiros. Scientific Workflow Systems. In *Proceedings of the NSF Workshop on Workflow and Process Automation: State-of-the-Art and Future Directions*, 1996.