

Aplicação de Raciocínio Baseado em Casos a Sistemas de Apoio à Decisão Ambiental

DANIEL DOS SANTOS KASTER¹, CLAUDIA BAUZER MEDEIROS¹, HELOÍSA VIEIRA DA ROCHA¹

¹IC-UNICAMP – CP 6176, 13081-970 – Campinas, SP, Brasil
{daniel.kaster, cmbm, heloisa}@ic.unicamp.br

Abstract. One area which demands decision support applications is environmental planning. Because of the inherent complexity of environmental systems, standard Decision Support Systems (DSS) do not supply enough functionalities to deal with the related issues. Spatial DSS focused on environmental domains extend traditional DSS by providing adequate tools for environmental analysis and problem solving. This paper describes an environmental SDSS under development at IC-UNICAMP which combines scientific workflows, Case-Based Reasoning (CBR) and Geographical Information Systems (GIS). This system is based on two components: (1) an existing SDSS named WOODSS (WorkfOw-based spatial Decision Support System), developed at IC-UNICAMP, which interacts with a GIS and uses scientific workflows to document environmental models; and (2) an intelligent model retrieval mechanism based on CBR.

1 Introdução

Sistemas de apoio à decisão (*Decision Support Systems - DSS*) são sistemas que fornecem mecanismos para facilitar a interação do usuário, através de interfaces e pacotes específicos de software, com modelos de análise e dados de um determinado domínio para gerar e avaliar soluções alternativas.

Uma das áreas em que há grande demanda de soluções de apoio à decisão é o planejamento ambiental. O uso de técnicas de planejamento ambiental visa explorar racionalmente os recursos naturais [6]. No contexto da agricultura, por exemplo, envolve determinar o que plantar, onde e quando plantar, como preparar a terra, que técnicas de controle de pragas utilizar e como realizar a irrigação.

Em planejamento ambiental, os processos são usualmente expressados através de modelos, que aproximam e simplificam a realidade, fornecendo uma representação mais estruturada dos fenômenos em estudo. Modelos simulam, ou imitam, as operações e reações de processos do mundo real [16]. Modelagem e simulação computacional auxiliam cientistas a explorar hipóteses, analisar o funcionamento de processos ambientais e investigar a resposta de sistemas ambientais a possíveis mudanças.

Problemas ambientais, no entanto, são inerentemente complexos, pois tipicamente possuem características espaciais, são dependentes do tempo e de uma série de características geralmente inter-relacionadas [16]. Sendo assim, DSS convencionais são limitados para assistir à tomada de decisão no caráter ambiental.

Sistemas Ambientais de Apoio à Decisão (*Environmental Decision Support Systems - EDSS*) e Sistemas Espaciais de Apoio à Decisão (*Spatial Decision Support Systems - SDSS*) são extensões de DSS que oferecem aos usuários ambientes flexíveis para a tomada de decisões neste con-

texto. EDSS são extensões de DSS que possuem ferramentas especificamente desenvolvidas para assistir ao processo de tomada de decisão ambiental [13]. SDSS estendem DSS no sentido de que são capazes de manipular adequadamente dados espaciais, auxiliando eficientemente processos decisórios onde a dimensão espacial é fundamental para análise [4, 5]. Um SDSS aplicado ao domínio ambiental pode ser considerado um EDSS, e será tratado neste texto como um SDSS ambiental.

Geralmente, EDSS e SDSS utilizam Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para executar tarefas de gerenciamento e análise de dados espaciais [13, 9]. No contexto deste artigo, SIG são entendidos como sistemas de informação que permitem coletar, armazenar e recuperar informações baseadas em sua localização espacial e explorar relações entre conjuntos de dados [12, 3].

Este artigo apresenta um SDSS ambiental, atualmente em desenvolvimento no IC-UNICAMP. Este sistema é baseado na combinação de conceitos de Inteligência Artificial e de Bancos de Dados Geográficos. O objetivo é oferecer um ambiente computacional que auxilie os usuários a realizar de forma eficiente as atividades necessárias à criação de cenários alternativos para planejamento ambiental.

O trabalho aqui apresentado é baseado em dois componentes: (1) um SDSS baseado em workflows científicos, que interage com um SIG, já desenvolvido na UNICAMP, denominado WOODSS (*WorkfOw-based spatial Decision Support System*) [14, 15]; e (2) um mecanismo de recuperação inteligente e de edição de modelos que utiliza técnicas de Raciocínio Baseado em Casos (*Case-Based Reasoning - CBR*) [10, 20] para auxiliar usuários a desenvolver novas estratégias de solução de problemas de planejamento ambiental a partir de estratégias já armazenadas no WOODSS.

As principais contribuições deste artigo são:

- Uma discussão sobre o uso de técnicas de raciocínio baseado em casos para apoio à decisão ambiental;
- A descrição da arquitetura de um sistema que combina workflows, bancos de dados e raciocínio baseado em casos para apoio à decisão na área de planejamento agro-ambiental.

Este artigo está organizado como segue: a seção 2 apresenta uma revisão dos conceitos necessários ao entendimento do trabalho, a saber, workflows científicos e CBR; a seção 3 descreve o sistema WOODSS; a seção 4 apresenta uma discussão sobre a utilização de CBR para apoio à decisão ambiental; a seção 5 descreve a aplicação de CBR no WOODSS; e a seção 6 mostra alguns trabalhos relacionados ao tema deste artigo; e a seção 7 traz as conclusões e o trabalho em andamento.

2 Conceitos básicos

Os principais conceitos para o entendimento deste artigo são associados a workflows científicos e raciocínio baseado em casos, descritos nas próximas seções.

2.1 Workflows Científicos

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 [2]. O objetivo de um sistema de workflows é auxiliar na especificação, execução, monitoramento e coordenação de um fluxo de trabalho.

A seqüência de passos de um processo decisório pode ser descrita através de um workflow, onde cada passo é representado por uma atividade. As informações de entrada e saída (dados, condições de execução, dispositivos a usar, entre outros) e os relacionamentos entre os diferentes passos do processo são expressados pelo fluxo do workflow.

Workflows científicos são extensões a sistemas de workflow tradicionais, especialmente definidos para documentar procedimentos e experimentos científicos [19, 18]. O trabalho científico é caracterizado por um grande grau de flexibilidade e incerteza e a ocorrência de exceções é maior do que o trabalho comercial. Desta forma, os mecanismos de workflow padrão são insuficientes para descrever este tipo de trabalho.

Workflows científicos estendem sistemas de workflow tradicionais nos seguintes aspectos:

- **Incompletude:** workflows científicos podem ser executados até mesmo quando incompletos, sendo assim construídos progressivamente durante sua execução. Workflows tradicionais, ao contrário, precisam ser totalmente definidos antes de serem executados;
- **Reutilização parcial:** workflows científicos diferem dos tradicionais pois são considerados como blocos em construção para especificação de experimentos. Assim, workflows parciais podem ser utilizados para a especificação de novos workflows;
- **Modificação dinâmica:** workflows científicos permitem re-executar atividades e também retroceder a uma atividade anterior, restabelecer seu contexto e continuar a execução por um novo curso de ação. Isto é, a especificação de um workflow pode ser modificada dinamicamente;
- **Execução de processos inválidos:** no domínio científico, processos de decisão são baseados no mecanismo de tentativa e erro. Workflows científicos são flexíveis o suficiente para suportar este tipo de abordagem;
- **Especificação a partir da instância:** workflows tradicionais são especificações para serem executadas frequentemente, onde cada execução é uma instância. Workflows científicos, por outro lado, podem ser executados uma única vez, como em tentativas sem sucesso. Uma vez que um workflow científico pode ser definido dinamicamente, sua especificação é realizada a partir da instância, ao invés da especificação definir a instância.

Segundo [15], o processo decisório no caráter ambiental pode ser naturalmente expressado como um experimento científico, onde o objetivo é produzir um mapa, representando um cenário alternativo, que irá indicar como resolver o problema. Este mapa é gerado a partir da execução de uma seqüência parcialmente ordenada de atividades, seguida de ajustes sucessivos, usando funções de um SIG. Assim, o processo de geração de mapas pode ser apropriadamente modelado como um workflow científico.

2.2 Raciocínio baseado em casos

Raciocínio Baseado em Casos (*Case-Based Reasoning - CBR*) é uma técnica para resolução de problemas que relembra e adapta soluções que foram usadas para resolver problemas similares anteriores [11, 20, 1]. Em CBR, um caso contém informações sobre uma experiência passada, como: a descrição da situação encontrada; em que esta difere de outras situações; e como o sistema reagiu à situação.

CBR é baseado no raciocínio natural humano, e existem muitas evidências de que pessoas usam CBR no seu

raciocínio cotidiano. Kolodner cita, em [10], pesquisas que durante o processo de aprendizado de uma nova habilidade as pessoas freqüentemente retornam a problemas anteriores para saber como realizar uma tarefa no novo contexto. Mecânicos, por exemplo, utilizam experiências próprias e de outros mecânicos para gerar hipóteses sobre problemas em um carro e como verificá-las.

As idéias do CBR foram desenvolvidas, em parte, como uma reação a algumas desvantagens de técnicas tradicionais de Inteligência Artificial, como o Raciocínio Baseado em Regras (*Rule-Based Reasoning - RBR*), que consiste em analisar uma situação através de um conjunto de regras pré-estabelecidas. Dentre estas desvantagens podemos citar:

- **Obtenção de conhecimento:** é geralmente mais fácil para especialistas articular soluções lembrando soluções para problemas previamente encontrados do que realizando inferências sobre um conjunto potencialmente grande de regras. Além disso, em sistemas baseados em regras é preciso reestruturar o código para acomodar expansões e tratamento de casos particulares. Em sistemas de CBR, por outro lado, o aprendizado é uma tarefa natural, através da retenção de novos casos. Desta maneira, torna-se mais simples adequar o sistema a novas situações e situações anômalas. Além disso, o conhecimento do domínio não precisa ser completamente definido no desenvolvimento do sistema, sendo expressado através do conjunto de casos armazenado;
- **Memória:** sistemas baseados em regras não possuem memória, o que obriga a construção de soluções sempre a partir do zero. Assim, erros anteriores tendem a acontecer novamente. Sistemas baseados em casos, por outro lado, possuem uma memória de casos anteriores, continuamente incrementada. Isto permite construir soluções a partir de outras, minimizando o tempo gasto e evitando cometer novamente os mesmos erros;
- **Robustez:** em sistemas baseados em regras, quando um problema não se encaixa em nenhuma regra, o sistema simplesmente não pode resolvê-lo. Sistemas baseados em casos, por sua vez, podem adaptar casos com características similares que podem ser úteis para resolver o problema atual.

Podemos descrever o ciclo básico de processamento do CBR como: dado um problema, obter as soluções anteriores relevantes, adaptá-las para o problema atual e armazenar o novo caso, juntamente com sua solução. Em [1] este processo é resumido nas seguintes atividades (figura 1):

1. **Recuperar:** analisar o caso de entrada extraindo os

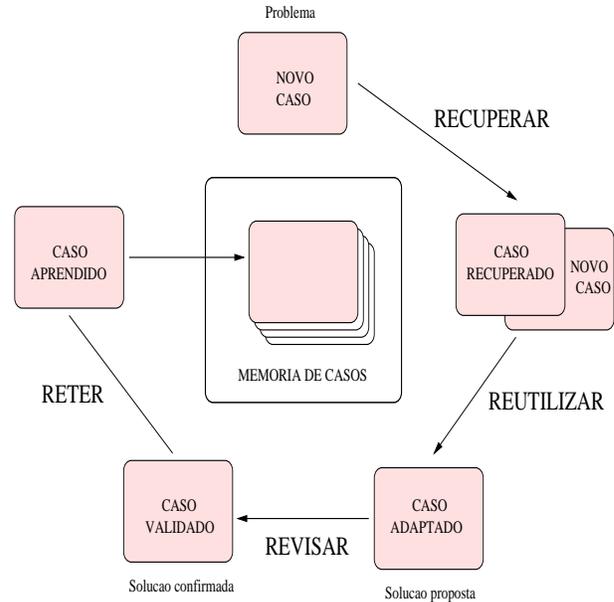


Figura 1: Ciclo básico de processamento em CBR [1].

descritores relevantes e recuperar, utilizando estes descritores, os casos mais similares ao caso de entrada. Esta atividade é fundamentada em técnicas como esquemas de "ranking" e métricas de similaridade;

2. **Reutilizar:** construir novas soluções a partir das soluções dos casos recuperados e/ou partes destas, através de ajustes e adaptações;
3. **Revisar:** avaliar e testar a solução construída para determinar sua correteude, utilidade e robustez;
4. **Reter:** acrescentar o novo caso à memória.

CBR pode ser aplicado aos mais variados domínios. Nesta diversidade, podemos distinguir dois tipos básicos de implementação de sistemas CBR: *sistemas totalmente automáticos* e *sistemas de recuperação de informação baseados em casos* [11]. Sistemas totalmente automáticos resolvem problemas de forma autônoma e têm mecanismos de interação com o mundo para avaliar os resultados de suas decisões. Sistemas de recuperação de informações baseados em casos, por sua vez, subsidiam pessoas que resolvem os problemas, como uma extensão da memória do usuário, a quem cabe realizar o raciocínio e tomar as decisões. É do segundo tipo de implementação que estamos tratando neste trabalho.

3 O sistema WOODSS

Como mencionado na introdução, este artigo propõe a aplicação de técnicas de CBR em um sistema espacial de

apoio à decisão, para auxiliar usuários em tarefas de planejamento ambiental. Esta seção apresenta o sistema WOODSS (*Workflow-based spatial Decision Support System*) [14, 15], desenvolvido no IC-UNICAMP, no qual estão sendo incorporados estes conceitos.

O WOODSS é baseado na noção de workflows científicos para descrição dos passos da construção de modelos. De fato, no contexto de sistemas geográficos, os mapas gerados são as soluções alternativas para um problema, e os modelos são os algoritmos utilizados para gerá-los.

O objetivo do WOODSS é auxiliar o usuário na etapa de construção de mapas, cabendo ao usuário interpretá-los e definir as medidas a serem tomadas. Isto é, o WOODSS visa oferecer mecanismos para manipulação e gerenciamento de modelos. Para alcançar este objetivo, ele interage com um SIG capturando as interações dos usuários em atividades de geração de mapas e cenários alternativos e documentando-as como workflows científicos (figura 2).

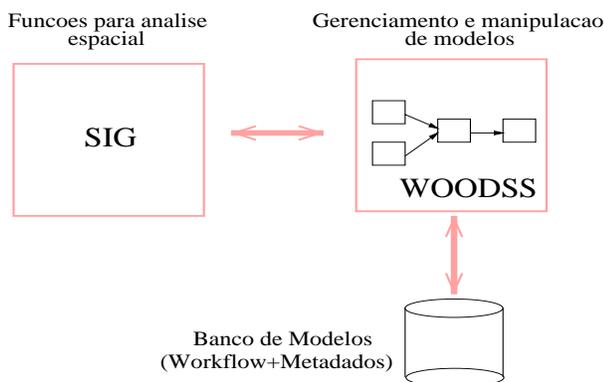


Figura 2: Interação do WOODSS com um SIG [14, 15].

Workflows científicos são usados no WOODSS com os seguintes objetivos:

- Para documentação do processo decisório;
- Como especificações em alto nível de modelos de simulação de processos ambientais;
- Como especificações parametrizadas de procedimentos de decisão, que podem ser reutilizados e adaptados para situações similares.

No WOODSS, um modelo é constituído por um workflow científico e um conjunto de metadados associados. O workflow científico descreve a seqüência de passos utilizada e o fluxo de dados entre estes passos. Os metadados contêm informações descritivas sobre o problema e sobre a

solução encontrada. Desta forma, contextualizam o algoritmo usado no domínio da aplicação, o que é essencial para reutilizações futuras.

Os modelos (workflows científicos e metadados associados) são armazenados em um banco de dados, também chamado banco de modelos. Sendo assim, os usuários podem consultar o banco de modelos, recuperar os modelos mais relevantes, e modificá-los para a geração de novas soluções. Os workflows podem ser modificados através da inserção, remoção ou refinamento de atividades, além da modificação de dependências e metadados.

A apresentação de processos como workflows oferece ao usuário uma visão clara e representativa. Permite ao usuário analisar o processo decisório como um todo, facilitando o controle do processo e o planejamento dos próximos passos. Além disso, o WOODSS oferece mecanismos que facilitam a execução, no sistema geográfico, das soluções geradas.

Mais detalhes sobre o WOODSS escapam a este artigo e podem ser encontrados em [14, 15].

4 CBR e apoio à decisão ambiental

O raciocínio baseado em casos apresenta características que motivam sua aplicação em modelagem ambiental. Problemas ambientais são inerentemente complexos e em geral insuficientemente conhecidos e modelados. CBR é uma técnica onde o conhecimento é modelado a partir de instâncias, de forma que não se faz necessário modelar formalmente o conhecimento do domínio.

Conceitos que são partes do mundo real, como um pássaro, uma cadeira ou um fenômeno físico, são polimórficos. Isto é, suas instâncias podem ser caracterizadas de várias formas, e não é possível chegar a uma definição clássica completa em termos de um conjunto de características para tais conceitos. Uma alternativa para abordar este problema é representar estes conceitos extensivamente, ou seja, defini-los através de seus conjuntos de instâncias – ou casos [1].

Modelar sistemas ambientais através de conjuntos extensivos de instâncias aparece como uma alternativa perante a complexidade do domínio ambiental. Assim, é possível armazenar instâncias de processos aleatórios, bem como estados de processos em instantes diferentes e construir o conhecimento do domínio através destes conjuntos de instâncias. Este tipo de modelo é conhecido como modelo de instância específica [17].

A aquisição de conhecimento em raciocínio baseado em casos faz parte do processo natural de construção de soluções, uma vez que cada novo caso é armazenado na memória de casos. Desta maneira, o contínuo desenvolvimento do conhecimento de sistemas ambientais e das técnicas utilizadas pode ser acomodado sem maiores dificulda-

des.

Além disso, representar o conhecimento através de instâncias facilita o tratamento de exceções e anomalias, não incomuns em processos ambientais. Afinal, cada caso encerra dentro de si uma situação acontecida e a forma como foi resolvida. Logo, exceções e anomalias podem ser tratadas de maneira análoga a situações comuns.

É possível extrair conhecimentos e generalizações a partir de uma memória de casos extensiva. Assim, é possível chegar a modelos mais genéricos e eficientes analisando o conjunto de instâncias armazenado. Além disso, uma memória de casos extensiva pode ser explorada, buscando padrões e tendências nos processos ambientais, contribuindo para o melhor entendimento destes processos.

Portanto, CBR possui um grande potencial de utilização em aplicações ambientais. Na seção 6 são apresentados algumas aplicações já desenvolvidas nesta área.

5 Raciocínio baseado em casos no WOODSS

A abordagem apresentada nesta seção descreve a inserção de CBR no WOODSS. O processo de recuperação de modelos é o primeiro passo na reutilização de soluções. Identificar o modelo mais similar possível ao modelo desejado para uma nova situação oferece ao usuário informações relevantes e diminui o trabalho de adaptação e adequação do modelo a uma nova situação. O objetivo da aplicação de CBR na edição e recuperação de modelos visa aprimorar a eficiência da reutilização de soluções.

5.1 Considerações sobre a recuperação de modelos

Um dos problemas do WOODSS reside na recuperação de modelos. Atualmente, a única forma de recuperação oferecida pelo sistema é através de palavras-chave. No entanto, esta forma de recuperação de modelos não é sempre adequada ao perfil dos usuários.

Usuários diferentes podem ter visões e descrições diferentes para os mesmos modelos, e mecanismos de busca tradicionais baseados em palavras-chave são limitados para lidar com este panorama. Além disso, estes mecanismos não tratam similaridades semânticas adequadamente.

Por exemplo, considere que um usuário gerou e armazenou no banco de modelos um modelo descrito como "avaliação da aptidão agrícola das terras da cidade de Campinas". Em um processo decisório posterior, outro usuário deseja realizar uma tarefa similar, só que para a cidade de Belo Horizonte. Se o segundo usuário fornecer palavras-chave do tipo "análise", "capacidade de uso" e "Belo Horizonte", sistemas convencionais baseados em consulta por matching exato de palavras-chave não retornariam qualquer modelo, embora o primeiro modelo pudesse ser útil na construção da sua solução para o segundo problema.

Considere, ainda, uma relação de similaridade mais

profunda. Por exemplo, a similaridade entre as cidades de São Paulo, Santos e Florianópolis depende de que aspectos estão sendo considerados. Se for considerado o aspecto de localização geográfica, São Paulo e Santos são mais similares; se forem aspectos ambientais, possivelmente Santos e Florianópolis tenham maior semelhança, por serem cidades litorâneas; e se for considerada a característica de ser capital de estado, a similaridade entre São Paulo e Florianópolis é maior.

Da mesma forma, em planejamento ambiental é preciso considerar o contexto do problema para que sejam recuperados modelos relevantes. A solução proposta consiste em embutir conhecimento do domínio da aplicação nos mecanismos de edição e recuperação de modelos para obter melhores resultados. Neste ponto, entra a inserção de CBR, que oferece naturalmente mecanismos para tratar *similaridade* entre casos (modelos, na aplicação em questão).

5.2 Arquitetura do WOODSS utilizando CBR

Sistemas de CBR utilizam uma estrutura para representação e organização dos casos, denominada memória de casos, e estruturas de índices para otimizar a recuperação de casos. Os algoritmos de recuperação devem considerar métricas de similaridade e "ranking" de casos, dependentes do conhecimento do domínio. A proposta de combinar bancos de dados e CBR visa especificar o mecanismo de CBR aproveitando o conhecimento já bastante maduro em bancos de dados sobre organização, indexação e recuperação de dados.

Um caso, nesta abordagem, corresponde a uma instância de utilização de um modelo. Desta maneira, um modelo pode ter vários casos associados. Por exemplo, um mesmo modelo (algoritmo no SIG) pode ser utilizado em mais de uma situação com dados de entrada diferentes. As diferentes situações são consideradas diferentes casos associados ao mesmo modelo. Armazenando todos os casos referentes a um modelo, o sistema automaticamente enriquece o conjunto de informações sobre o modelo, representando diferentes situações que levariam um modelo a ser lembrado, aumentando a flexibilidade da recuperação.

A figura 3 mostra de forma simplificada a arquitetura do WOODSS, já considerando a utilização de CBR. O módulo monitor/conversor captura as interações do usuário com o SIG e as codifica como um workflow científico. Além disso, é capaz de traduzir modelos em alto nível no WOODSS em códigos executáveis no SIG.

O banco de modelos contém os modelos (workflow científico + metadados) armazenados e a memória de casos os casos associados aos modelos. Para recuperar um modelo, o usuário fornece uma descrição do problema, que é comparada com os casos armazenados na memória de casos. O sistema retorna ao usuário o modelo referente ao caso mais

semelhante ao problema apresentado.

O módulo de edição permite que o usuário realize as adaptações e os ajustes necessários para reutilizar o modelo como solução para o novo problema. Uma vez validado pelo usuário, se o modelo gerado difere dos modelos já armazenados, este é retido no banco de modelos e o caso correspondente retido no banco de casos. Caso contrário, somente o novo caso de utilização é retido.

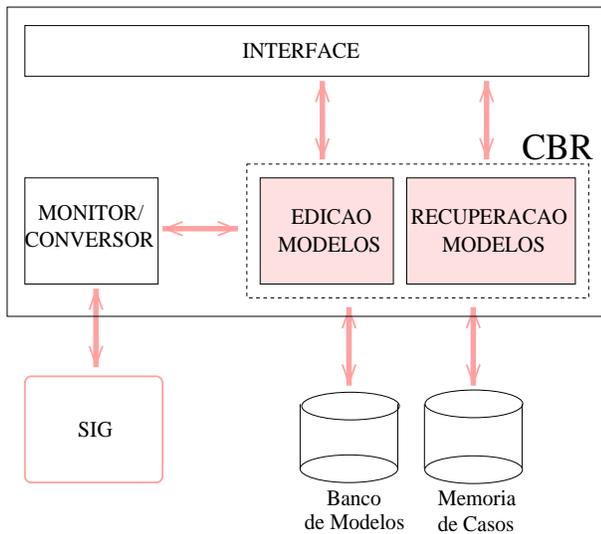


Figura 3: Arquitetura do WOODSS utilizando CBR na recuperação de modelos.

Rizzoli et al. Apresenta em [13] um conjunto de características genéricas desejáveis de um sistema de apoio à decisão ambiental (EDSS). A necessidade de cada uma destas características em um sistema particular irá depender da natureza do problema, da situação e dos usuários do sistema:

1. Capacidade de adquirir, representar e estruturar o conhecimento do domínio em estudo. Para isto, é preciso identificar o domínio da aplicação, estabelecer quais são as estruturas de dados necessárias para representar os componentes do domínio modelado e entender os relacionamentos entre eles;
2. O banco de modelos, onde o conhecimento estruturado do domínio é armazenado, deve permitir a separação entre dados e modelos para facilitar a reutilização de modelos e a prototipagem;
3. Capacidade de lidar com dados espaciais;
4. Oferecer ajuda especialista no domínio de interesse, através de técnicas de inteligência artificial. Conhecimentos do domínio são úteis para auxiliar o usuário a

recuperar informações, preparar dados, selecionar modelos e interpretar resultados;

5. Fornecer mecanismos para auxiliar o usuário durante a formulação do problema e na escolha dos métodos de solução.

Nota-se que o WOODSS oferece inicialmente as três primeiras características sugeridas:

- De fato, workflows no WOODSS permitem representar e estruturar o conhecimento do domínio em estudo, representado através dos modelos. Além disso, com o mecanismo de captura de interações dos usuários com o SIG, o WOODSS permite adquirir conhecimentos automaticamente. Os relacionamentos entre as tarefas e sub-processos são apresentados naturalmente através dos workflows (1);
- O banco de modelos é provido pelo WOODSS (2);
- O SIG acoplado ao WOODSS fornece as funções de manipulação e análise de dados espaciais (3).

Com a inserção de CBR, o WOODSS adquire características desejáveis de um EDSS até então não oferecidas:

- Com a utilização de CBR na edição e recuperação de modelos torna-se sensível ao domínio e auxilia o especialista na formulação do problema e na escolha dos métodos de solução (modelos) e pode ser mais efetivo nas tarefas de planejamento ambiental (4);
- Através do conhecimento do domínio embutido no conjunto de casos e do mecanismo de similaridade parcial entre casos, o sistema pode identificar semelhanças entre os questionamentos do usuário e os modelos armazenados, retornando os mais adequados, que, por sua vez, contêm tarefas computacionais de modelagem e simulação (5).

Sob esta ótica, o acoplamento de CBR ao WOODSS permite a construção de um *SDSS ambiental* adequado.

6 Trabalhos correlatos

Existem algumas abordagens que utilizam CBR em aplicações de apoio à decisão ambiental, como [8, 17, 7]. Hastings apresenta em [7] um sistema de notificação de alertas sobre infestações de gafanhotos combinando CBR e raciocínio baseado em modelos (*Model-Based Reasoning*). O processo decisório utilizado consiste em estimar a proporção de folhagem que será consumida pelos gafanhotos, avaliar se a infestação pode afetar as plantações e, caso isto ocorra, estimar os custos e benefícios das medidas a serem tomadas. O sistema, denominado CARMA (*CASE-based Range Management Adviser*), não utiliza SIG.

Verdenius e Broeze apresentam em [17] um sistema baseado em CBR aplicado ao domínio de tratamento de águas de esgoto utilizando plantas e microorganismos. Durante o processo de transformação de substâncias tóxicas, existe uma grande demanda de oxigênio. Para que a tarefa de purificação da água tenha um desempenho ótimo, uma técnica utilizada consiste em injetar doses de oxigênio na água. A idéia do sistema consiste em gerenciar o nível de oxigênio e decidir nas variadas situações que medidas tomar. Este sistema também não utiliza SIG.

Uma aplicação que combina CBR e SIG é apresentada por Holt e Benwell em [8]. Nesta referência, os autores descrevem um sistema de classificação de solos denominado ZONATION. A proposta deste sistema reside no fato de que, segundo os autores, não existe uma fórmula genérica que pode ser aplicada para classificação de séries de solos para um ambiente (ou área) genérico. O sistema apresentado permite aos especialistas realizar classificações baseadas em instâncias prévias, utilizando conhecimento específico do domínio.

Embora a abordagem de Holt e Benwell utilize SIG, a proposta descrita neste artigo é original, pois: (1) o domínio da aplicação é distinto (neste trabalho é o domínio de planejamento agro-ambiental); e (2) a abordagem apresentada neste artigo visa assistir ao usuário na tarefa de construção de modelos ambientais e não envolve a utilização de modelos definidos formalmente, como nas aplicações citadas.

7 Conclusões e extensões

Este artigo apresenta um sistema atualmente em desenvolvimento no IC-UNICAMP visando a construção de um SDSS ambiental. Este sistema está baseado em acoplar a um sistema atualmente existente, o WOODSS, um conjunto de ferramentas de edição e recuperação de modelos utilizando CBR. O trabalho está sendo centrado na área de planejamento agro-ambiental, contando para isto com apoio de especialistas da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP.

A combinação de técnicas de CBR e bancos de dados geográficos para apoio à decisão é um tópico de pesquisa de ponta, onde existem ainda poucos trabalhos desenvolvidos. A proposta descrita é original em vários aspectos, destacando a possibilidade de auxiliar o usuário na criação e adaptação de modelos, recuperados com CBR, e pela aplicação estar focada no domínio de planejamento agro-ambiental.

Além disso, destacam-se os seguintes resultados:

- Com a inserção de CBR o sistema WOODSS torna-se mais efetivo para apoio à decisão no contexto ambiental, fornecendo mecanismos para gerenciamento e recuperação eficiente de modelos, tratando-os como casos;

- A definição de atributos e parâmetros adequados para aplicação de CBR em um domínio específico e novo. Estes atributos correspondem às especificações para representação, indexação, armazenamento e recuperação de casos. Levantando, desta forma, conhecimentos que podem ser aplicados futuramente em novos trabalhos de pesquisa.

O estágio atual deste trabalho é o levantamento de atributos e indicadores de similaridade no domínio agro-ambiental, realizado em paralelo com modificações ao WOODSS para permitir incorporar estruturas de CBR.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq e pelos projetos PRONEX MCT/FINEP SAI (Sistemas Avançados de Informação) e CNPq/NSF Interoperabilidade em SIG. Os autores agradecem especialmente ao professor Jansle Vieira Rocha, da FEAGRI UNICAMP, pelas inúmeras reuniões, discussões, dados e casos para este trabalho.

Referências

- [1] A. Aamodt and E. Plaza. Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations and system approaches. *AI Communications*, 7(1):39–59, 1994.
- [2] P. Barthelmess. Sistemas de workflow: Análise da Área e proposta de modelo. Master's thesis, IMECC-UNICAMP, 1996.
- [3] G. Câmara, M. A. Casanova, A. S. Hemerly, G. C. Magalhães, and C. B. Medeiros. *Anatomia de Sistemas de Infomação Geográfica*. Instituto de Computação - UNICAMP, 1996.
- [4] M. D. Crossland, B. E. Wynne, and W. C. Perkins. Spatial decision support systems: An overview of technology and a test of efficacy. *Decision Support Systems*, 14(3):219–235, July 1995.
- [5] P. J. Densham. Spatial decision support systems. In D. J. Maguire, M. F. Goodchild, and D. W. Rhind, editors, *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, chapter 26, pages 403–412. Longman Scientific and Technical, New York, NY, 1991.
- [6] K. Fedra. GIS and environmental modeling. In M. F. Goodchild, B. O. Parks, and L. T. Steyaert, editors, *Environmental Modeling with GIS*, chapter 5, pages 35–50. Oxford Univesity Press, New York, NY, 1993.
- [7] J. D. Hastings. *A Mixed Paradigm Approach to Problem Solving in Incomplete Causal-Theory Domain*. PhD thesis, University of Wyoming, Laramie, Wyoming, 1996.

- [8] A. Holt and G. L. Benwell. Applying case-based reasoning techniques in GIS. *The International Journal of Geographical Information Science*, 13(1):9–25, 1999.
- [9] P. Keenan. Using GIS as a DSS generator. Working Paper MIS 95-9, Department of Management Information Systems, Faculty of Commerce, University College Dublin, Dublin, Ireland, April 1997.
- [10] J. Kolodner. *Case-Based Reasoning*. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, 1993.
- [11] J. L. Kolodner and M. Y. Jona. Case-based reasoning: An overview. Technical Report 15, Northwestern University, June 1991.
- [12] D. J. Maguire. An overview and definition of GIS. In D. J. Maguire, M. F. Goodchild, and D. W. Rhind, editors, *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, chapter 1, pages 9–20. Longman Scientific and Technical, New York, NY, 1991.
- [13] A. E. Rizzoli and W. J. Young. Delivering environmental decision support systems: Software tools and techniques. *Environmental Modelling and Software*, 12(2–3):237–249, 1997.
- [14] L. Seffino. WOODSS - a spatial decision support system based on scientific workflows. Master's thesis, UNICAMP, July 1998.
- [15] L. Seffino, C. B. Medeiros, J. V. Rocha, and Bei Yi. WOODSS - a spatial decision support system based on workflows. *Decision Support Systems*, 27(1–2):105–123, November 1999.
- [16] L. T. Steyaert. A perspective on the state of environmental simulation modeling. In M. F. Goodchild, B. O. Parks, and L. T. Steyaert, editors, *Environmental Modeling with GIS*, chapter 3, pages 16–30. Oxford University Press, New York, NY, 1993.
- [17] F. Verdenius and J. Broeze. Generalized and instance-specific modelling for biological systems. *Environmental Modelling and Software*, 14:339–348, 1999.
- [18] J. Wainer, G. Vossen, and C. B. Medeiros. Workflow management in geoprocessing applications. Technical Report 04/98-I, University of Münster, Germany, February 1998.
- [19] J. Wainer, M. Weske, G. Vossen, and C. B. Medeiros. Scientific workflow systems. In *Proceedings of the NSF Workshop on Workflow Process Automation: State-of-the-art and Future Directions*, 1996.
- [20] I. D. Watson. *Applying Case-Based Reasoning: Techniques for Enterprise Systems*. Morgan Kaufmann, 1997.