

Suporte à Decisão em Gestão Pública Participativa: Um Estudo de Caso em Gestão Ambiental

Leonardo Afonso Amorim¹, Vinícius Sebba Patto², Renato de Freitas Bulcão Neto³, Iwens Gervasio Sene Junior⁴

¹Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Caixa Postal 131 – 74.001-970
Goiânia – GO – Brasil

leonardoamorim@inf.ufg.br¹, viniiciussebba@inf.ufg.br²

renato@inf.ufg.br³, iwens@inf.ufg.br⁴

Abstract. *This paper presents a decision support agent (DSA) for participatory public management as part of the ADGEPA project. Facing environmental management's challenges and the importance of the environment, a case study was performed to analyze DSA's outcomes, whose profile is more sensitive to environmental concerns in comparison to social concerns. The main goal of this paper is to demonstrate the importance of the decision support agent in the ADGEPA project. Furthermore, this paper was geared towards the following debate: could fixing up social concerns help in environmental concerns more efficiently than fixing up environmental concerns? Experiments demonstrated the answer and the feasibility and potential of DSA.*

Keywords: *decision support, multi-criteria decision analysis, participatory public management, multi-agent simulation, environmental management.*

Resumo. *Neste artigo, é apresentado um agente para suporte à decisão (ASD) em gestão pública participativa, como parte do projeto ADGEPA. Face aos desafios da gestão ambiental e à grande importância do meio ambiente, foi proposto um estudo de caso para analisar as saídas do ASD, com perfil mais sensível às preocupações ambientais do que as sociais. O principal objetivo deste artigo é demonstrar a importância do agente de suporte à decisão no ADGEPA. Além disso, esse artigo foi proposto para debater: resolver problemas sociais poderia ajudar em problemas ambientais mais eficientemente do que resolver os problemas ambientais diretamente? Experimentos demonstraram a resposta e a viabilidade e o potencial do ASD.*

Palavras-chave: *suporte à decisão, análise multicritério, gerenciamento público participativo, simulação multiagente, gestão ambiental.*

1. Introdução

O crescimento populacional faz com que a demanda por recursos naturais aumente. Sem gestão pública adequada para controlar o impacto ambiental causado pela exploração desses recursos, há considerável risco de redução da sua disponibilidade. Consequentemente, aumenta-se a dificuldade de exploração, que por sua vez, aumenta o uso de recursos naturais. Adicionalmente, a redução de recursos naturais pode afetar a perpetuação de espécies vegetais ou animais. Além disso, a sua exploração pode

afetar a qualidade do ar, que por sua vez, pode afetar a temperatura média global. Se for considerado que os elementos ambientais estão correlacionados, a boa conservação ambiental se torna essencial à manutenção de ecossistemas e do clima. Para isso, deve haver fiscalização de atividades humanas, políticas e ações educacionais e preventivas acerca do uso sustentável de recursos naturais e uma ampla gama de ações necessárias à restauração ou à manutenção de ambientes naturais. Assim, vale destacar um agente de grande importância acerca da manutenção do meio ambiente: a gestão pública, que é em geral uma tarefa muito complexa e que exige abordagem sistêmica acerca de vários aspectos [Machado Junior et al. 2013].

Atualmente, tomadas de decisão no setor público não podem levar em consideração apenas aspectos financeiros, como análise de custo-benefício e análise de custo-eficácia. É essencial para a construção de uma gestão pública incluir os aspectos ambientais, que quase sempre entram em conflito com os aspectos econômicos. Nesse contexto, o emprego da análise multicritério tem ganhado importância quando os critérios a analisar não podem ser expressos facilmente em termos financeiros [Gamper and Turcanu 2007].

O principal objetivo deste artigo é apresentar um agente computacional para auxílio à tomadas de decisão em gestão pública participativa (doravante ASD, para Agente de Suporte à Decisão). O ASD faz uso de técnicas de mineração de dados e análise multicritério para apontar problemas relevantes. Para facilitar a compreensão do trabalho, se faz necessário apresentar o contexto em que este se insere: o projeto ADGEPA (Assistente Digital para Gestão Pública Participativa), juntamente com os seus módulos e um modelo de simulação multiagentes.

Na Seção 2, são apresentados trabalhos relacionados, o projeto ADGEPA, os desafios, a motivação que levou ao trabalho e os módulos que o compõem. Na Seção 3, descreve-se ASD, o seu processo de mineração de dados e a sua racionalidade. Na Seção 4, é apresentada uma discussão acerca deste trabalho. Por fim, as conclusões são apresentadas na Seção 5 e agradecimentos, em seguida.

2. Trabalhos relacionados

A análise multicritério tem sido bem empregada em gestão pública de forma a destacar a importância dos aspectos ambientais. Dentre algumas pesquisas, pode-se destacar: (i) [Khadka and Vacik 2012], na qual utilizam o método de Análise Hierárquica (AHP, do inglês: Analytic Hierarchic Process) para explorar informação, conhecimento e preferências de partes interessadas para tratar problemas de manejo florestal comunitário; (ii) [Khalili and Duecker 2013], em que utilizam o método ELECTRE III como parte de um framework para um Sistema de Gerenciamento Sustentável, que está alinhado aos objetivos do desenvolvimento sustentável da Rio+20, por meio de um estudo de caso que demonstra a gestão do fluxo de resíduos de uma fabricante de bebidas energéticas; (iii) [Akgun et al. 2012], na qual utilizam o método de Regime de Análise (RA), composto por um conjunto de alternativas e uma matriz com pesos a fim de gerar um ranqueamento dos critérios mais importantes (neste estudo, são levados em consideração os aspectos quantitativos e qualitativos, adicionalmente possui dois estudos de casos acerca de causas ambientais, um na Finlândia para tratar a preservação das florestas e um na Itália para o setor da agricultura); (iv) [Yeh and Xu 2013], em que utilizam o método de suporte

à decisão Nebuloso para elaborar um planejamento sustentável para o problema de lixo eletrônico; e (v) [Vizzari and Modica 2013], na qual utilizam um modelo baseado no método multicritério AHP para uma avaliação rápida e confiável da eficácia do gerenciamento de esgoto produzido por suínos.

Em gestão ambiental, nas décadas de 70 e 80, o foco era realizar controle de poluição por meio de regulações, padrões e mecanismos de controles. Atualmente, a gestão ambiental tem sido considerada como um dos vários critérios a serem analisados, ao lado do critério social e econômico. Isto permite a inclusão de diversos stakeholders como especialistas em gestão pública, ambientalistas, empresários, comerciantes, agricultores, cidadãos, etc. em busca de programas de gerenciamento ambiental pró-ativos a fim de garantir o desenvolvimento sustentável [Khalili and Duecker 2013].

Nos últimos anos, simulações baseadas em multiagentes ou MABS (do inglês *Multi-Agent Based Simulation*) têm sido utilizadas para auxiliar a compreensão da gestão ambiental e os papéis dos ativos envolvidos. Dentre alguns trabalhos, pode-se destacar: (i) [Ralha et al. 2013] com um Sistema Multiagente para Simulação Ambiental do Uso da Terra, que se trata de uma técnica de investigação para simular a dinâmica do uso da terra – um problema complexo causado pela interação entre sistemas naturais e sociais em diferentes escalas temporais e espaciais; (ii) [Jun et al. 2011], no qual é apresentada uma solução multiagente para gerenciamento de energia em um sistema de geração de energia híbrida e renovável; (iii) [Tian et al. 2011], cujo trabalho descreve uma simulação de dinâmicas espaço-temporal da urbanização com sistemas multiagentes em um estudo de caso da região metropolitana de Phoenix nos Estados Unidos.

O ADGEPA é um projeto inovador para suporte à tomada de decisão participativa em gestão pública. Os objetivos do projeto ADGEPA são: (i) criar um canal de comunicação entre cidadão e gestor público; (ii) auxiliar o gestor na tomada de decisão; (iii) promover gestão pública participativa pela inserção da maioria dos anseios populares em tomadas de decisão. Este projeto não se preocupa em determinar valores monetários para investimentos, apenas identificar e ranquear os aspectos mais significantes para mitigar os problemas socioambientais mais relevantes aos seus usuários.

Os trabalhos relacionados supracitados investigaram diversos aspectos importantes como suporte à decisão com ranqueamento de alternativas, gestão e aprendizagem humana em gerenciamento de recursos. Todavia, até onde os autores deste trabalho investigaram, não foi encontrado projeto que integrasse suporte à decisão em gestão pública participativa¹ com correlações espaciais, temporais e de aspectos socioambientais em um determinado centro urbano para promover uso mais eficiente de recursos públicos financeiros. O ASD tem papel primordial no ADGEPA, haja vista que ele faz busca de correlação entre denúncias, locais e momentos; em seguida, ele faz análise multicritério para ranquear os problemas socioambientais mais relevantes aos usuários e que são ao mesmo tempo mais relacionados à ocorrência de outros problemas (mais detalhes na Seção 3).

De maneira sucinta, o ADGEPA é composto por uma aplicação web responsiva para coletar denúncias acerca de problemas socioambientais, uma rede de sensores para

¹Gestão Pública Participativa é uma gestão em que membros da sociedade civil e representantes de classes são convidados a participar dos processos de tomada decisão.

coletar dados atmosféricos e de um agente para suporte a decisão (ASD).

Com auxílio de especialista do domínio foram selecionados 23 aspectos ambientais (que incluem água, ar, solo, uso ilegal de recursos naturais e invasão ilegal de áreas protegidas) e 37 aspectos sociais (que abarcam segurança pública, educação, saúde pública, infraestrutura urbana e invasão ilegal de áreas e prédios públicos) para a aplicação web² e quatro variáveis atmosféricas (umidade relativa do ar, luminosidade, temperatura e monóxido de carbono) para a rede de sensores. O ASD busca fazer correlação entre esses aspectos, o tempo e locais de ocorrência.

Porém, para reunir dados em quantidade satisfatória em intervalo temporal interessante, seria necessário ter o ADGEPA em serviço por muito tempo, além de haver necessidade de uma divulgação considerável entre membros da sociedade civil. Do ponto de vista prático, face à restrição temporal, foi decidido simular os dados que seriam gerados pelo uso da aplicação web em longo prazo. A simulação de dados neste projeto é tarefa difícil haja vista que eles devem ser coerentes com o cenário; por exemplo, não se pode simular denúncia de poluição de água em um local que não há um corpo d'água.

Do ponto de vista técnico, o uso de MABS se justifica neste projeto pelas características de agentes computacionais inteligentes, bastante semelhantes às dos usuários do ADGEPA : proatividade, reatividade, cooperação, autonomia, comunicação e capacidade de operar em ambientes dinâmico [Ferber 2007] e [Wooldridge 2009].

Atualmente, a simulação multiagentes está sendo desenvolvida com a plataforma GAMA³ que, apesar de ser uma plataforma nova, apresenta algumas vantagens sobre plataformas ou frameworks tradicionais como JADE⁴. Além de apresentar boa escalabilidade, GAMA facilita o trabalho de construção de ambientes de simulação: basta importar um arquivo de formato *shapefile* (e.g. um mapa) e em seguida definir os elementos dos mapas (ruas, prédios, bosques, lagos, rios, etc.). Em seguida, é necessário definir os agentes e os seus comportamentos para que percorram elementos do tipo arestas (ruas, trilhas, estradas, etc.) e interajam com outros agentes e elementos do mapa. A Figura 1 apresenta a simulação de usuários do ADGEPA em uma pequena região de uma metrópole brasileira (note 8 quadras em cores diferentes para representar residência, trabalho, escola, supermercado, shopping, bosque, igreja e restaurante, e um pequeno círculo amarelo no canto direito inferior, referente ao agente). A Figura 2 apresenta um modelo com dimensões maiores, porém não está completo.

²Por razões práticas, os 60 aspectos socioambientais não foram apresentados neste artigo, limitado em 10 páginas. Foi decidido apresentar apenas os 5 grupos de aspectos ambientais e os 5 grupos de aspectos sociais.

³GAMA é uma plataforma para auxiliar o desenvolvimento de simulações multiagentes. Mais informações disponíveis em <<https://code.google.com/p/gama-platform/wiki/Documentation>>

⁴JADE: Java Agent DEvelopment é um framework para desenvolvimento de agentes inteligentes. Mais informações em <<http://jade.tilab.com>>.

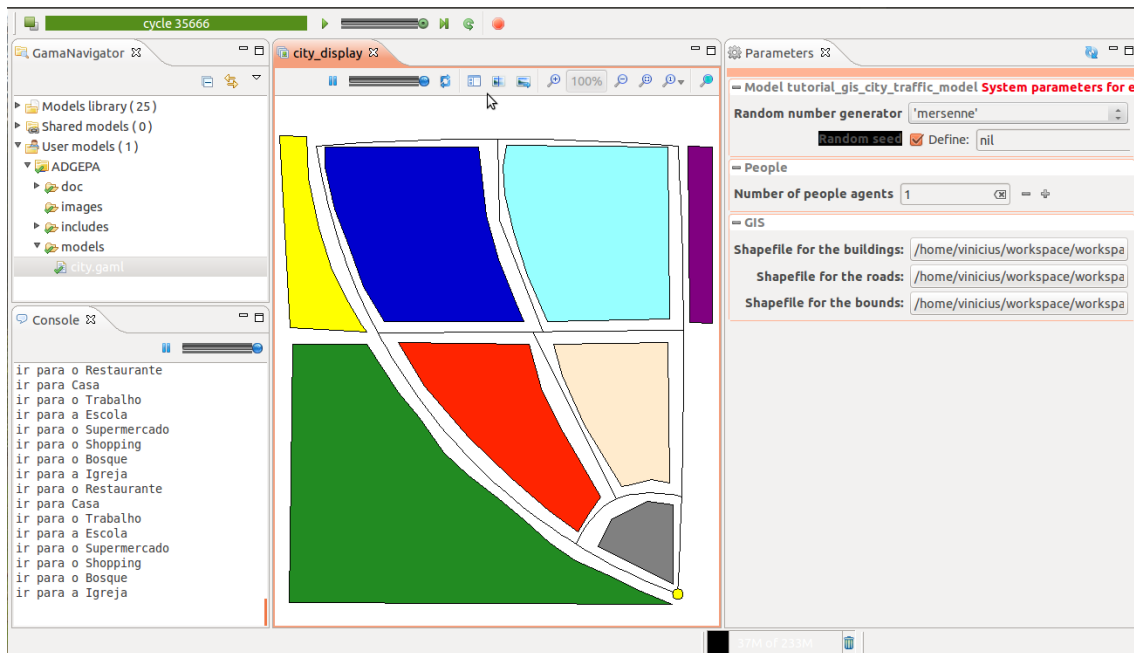


Figura 1. Simulação Multiagente no Projeto ADGEPA (8 elementos e um agente)

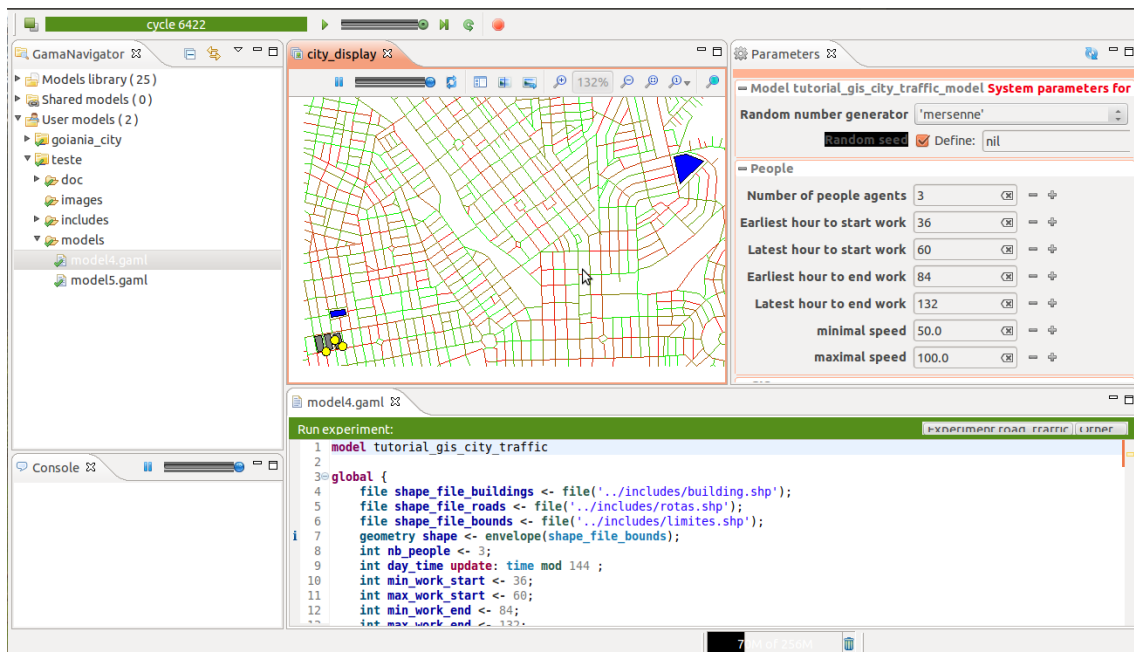


Figura 2. Simulação Multiagente no Projeto ADGEPA (3 agentes e uma grande área)

3. O Agente de Suporte a Decisão

No sistema web, uma denúncia é composta por coordenadas geográficas, aspecto socioambiental, momento da denúncia e o id do usuário. A primeira atividade do ASD é agrupar denúncias de acordo com coordenadas (isso define microrregiões em um mapa). Em seguida, esses grupos são reagrupados por intervalos temporais. Assim, cada

novo grupo significa um conjunto de denúncias em uma localidade muito próxima e em momento muito próximo - isso representa um registro. A saída de dados é um arquivo do tipo *CSV (Comma Separated Value)* em que todos os aspectos socioambientais são considerados como campos.

Como não houve tempo hábil para concluir o simulador foi utilizado um programa em Java para gerar dados aleatórios de marcações em um mapa. Este programa admite como entradas os limites do mapa (coordenadas X e Y) e o intervalo de tempo para simular denúncias. Nos experimentos iniciais, foram geradas 100.000 denúncias em uma região metropolitana. Foi considerado um intervalo temporal de 30 dias. O arquivo *CSV* foi então usado como entrada para o ASD, que por sua vez, com o uso da API do WEKA⁵, gerou 100 agrupamentos (doravante clusters) espaciais (ver Figura 3) e, a partir de cada um dos clusters, gerou 10 novos clusters temporais (ambos com o algoritmo K-means). Em seguida, com os 1000 clusters, foi montado um *Data Warehouse* (cada um dos clusters equivale a um registro). Assim, cada registro apresenta a quantidade que cada aspecto foi denunciado em uma área muito pequena e um intervalo de tempo muito curto. Em seguida, considera-se o suporte⁶ para ranquear os 10 aspectos mais denunciados:

$$supp(X) = \frac{\text{registros que possuem } X}{\text{total de registros}} \quad (1)$$

A próxima etapa consiste em criar a matriz de decisão. Para isso, o ASD encontra a média das confianças⁷ entre cada um dos 10 aspectos com maior suporte e os aspectos dos 10 grupos⁸ de aspectos socioambientais. O cálculo da confiança é definido pela Equação 2. O resultado deste processo inicial do ASD é uma matriz de dimensão 10 x 10.

$$conf(X \Rightarrow Y) = \frac{supp(X \cup Y)}{supp(Y)} \quad (2)$$

Após gerar a matriz de decisão, o ASD aplica uma técnica de análise multicritério.

3.1. Racionalidade do ASD

O primeiro protótipo do ASD foi implementado para usar o Método Multicritério de Soma Ponderada. Segundo [Almeida et al. 2012], ele é composto pelos seguintes passos:

1. Somar os elementos das linhas;
2. Normalizar os elementos da linha pelo resultado da soma da linha:

$$u_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=0}^n a_{ij}}, \forall j \in [1, n] \quad (3)$$

No qual:

⁵WEKA: Waikato Environment for Knowledge Analysis é uma ferramenta com um conjunto de programas para aprendizagem de máquinas. Mais informação em <<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>>

⁶Em mineração de dados, interpreta-se suporte como a probabilidade de um elemento ocorrer em uma coleção de registros

⁷Em mineração de dados, interpreta-se confiança como a probabilidade de um elemento acontecer, dado que outro elemento também ocorra em mesmos registros.

⁸Existem 10 grupos: água; ar; solo; uso ilegal de recursos naturais; invasão ilegal de áreas protegidas; segurança pública; educação; saúde pública; infraestrutura urbana; e invasão ilegal de áreas e prédios públicos. Cada grupo possui no mínimo um aspecto, ou social(is), ou ambiental(is).

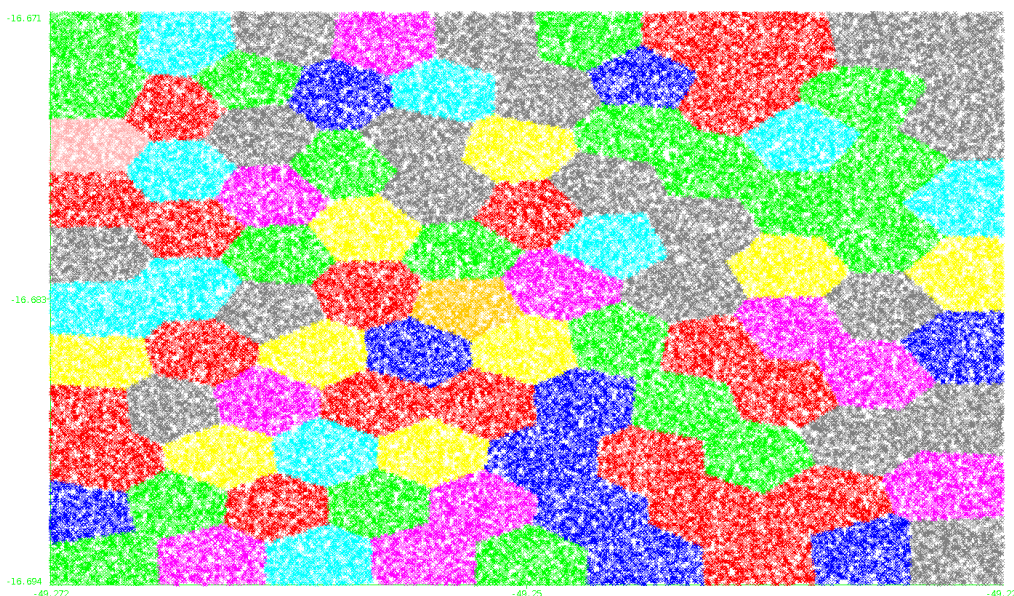


Figura 3. Visualização de agrupamentos espaciais pelo WEKA

- i indica a linha da matriz (foram escolhidos os 10 indicadores de maior suporte);
 - j indica a coluna da matriz (há 10 grupos de aspectos, logo 10 colunas e j vai de 0 a 9);
 - a é o valor da média das confianças entre o aspecto e os aspectos de um grupo; e
 - u é o valor da média das confianças normalizado para cada elemento da matriz.
3. Aplicar pesos do ASD, que variam de acordo com o perfil (nos primeiros experimentos, foram usados pesos 0,06 para as colunas que representam aspectos sociais e de 0,14 para as colunas que representam aspectos ambientais – o ASD foi mais sensível aos aspectos ambientais);
 4. Fazer a soma dos elementos das linha para identificar a ordem dos aspectos mais citados pelos usuários (maior suporte) e que possuem maior associação (confiança) com grupos de aspectos socioambientais de maior importância para o ASD.

Pode-se calcular os dois últimos passos da seguinte maneira:

$$R(u_i) = \sum_j^n w_j a_{ij}, \forall i \in [1, n] \quad (4)$$

Em que:

- i indica a linha da matriz;
- j indica a coluna da matriz, que vai de 0 a n (neste trabalho, de 0 a 9);
- w indica o peso aplicado ao grupo de indicadores;
- u é o valor normalizado da média das confianças entre o aspecto e os aspectos de um grupo; e
- R é o resultado do somatório para cada linha.

4. Discussão

No experimento, foi considerada uma pequena área (aproximadamente 3 por 5 Km) e um período de 30 dias. No primeiro agrupamento espacial, foram gerados 100 grupos espaciais. Em seguida, foram considerados 3 dias como intervalo temporal. Isso gerou 10 novos clusters. Em média, cada registro (cluster espacial e temporal) apresentou 1000 denúncias. Com o uso do algoritmo K-Means, foram obtidos resultados consideravelmente rápidos (algo em torno de dois minutos), em um Laptop com 8 GB de memória e processador Intel Core i5 CPU 2430m @ 2.4GHz x 4. Ainda é preciso fazer testes em áreas maiores e em intervalos de tempo mais longos. Adicionalmente, pode-se fazer estudos para identificação de séries temporais.

O ASD foi desenvolvido em dois módulos: um que faz mineração de dados, e outro que faz análise multicritério para ranquear os aspectos socioambientais. Graças ao primeiro módulo, a análise considera os aspectos mais denunciados pela população e aqueles que apresentam maior grau de associação com outros aspectos. Além disso, o perfil do ASD (definido pelos pesos da análise multicritério) pondera os aspectos que podem ser mais importantes em uma gestão. Neste trabalho, os aspectos ambientais apresentaram maior peso. Vale destacar que em algumas execuções os aspectos sociais foram apontados como prioritários. Isso não quer dizer que os aspectos ambientais foram menos considerados. O significado disso é que os aspectos sociais estavam fortemente associados a problemas ambientais. Assim, a mitigação ou resolução desses problemas sociais, poderia atenuar ou resolver mais problemas ambientais, caso fosse adotado outro problema (aspecto) para ser cuidado.

Do ponto de vista técnico, grande parte dos esforços deste trabalho se concentrou na mineração de dados e no uso da API do Weka em Java. A filtragem de dados para geração de clusters não é tarefa muito evidente; porém, há referências satisfatórias para este tipo de tarefa, por exemplo [Santos 2010].

5. Conclusão

A integração de dados obtidos de diversos setores da administração pública é de suma importância para que os administradores possam definir seus objetivos e estratégias de maneira sistêmica. Colocar isto em prática é um grande desafio, haja vista que essa integração não é muito comum entre a maior parte dos órgãos públicos no Brasil.

Talvez a maior motivação deste projeto seja a aproximação dos cidadãos à gestão pública, porque além reforçar o conceito de democracia, também favorece à resolução de problemas socioambientais. Trabalhos como [Briot et al. 2009] e [Sebba Patto 2010] já demonstraram isso. Adicionalmente, implementar essa prática favorece a aprendizagem dos agentes envolvidos acerca dos assuntos considerados no processo. Por último, a análise sistêmica dos dados, permite encontrar soluções mais eficientes, inclusive do ponto de vista econômico.

Neste trabalho, foi apresentada uma proposta de Agente para Suporte à Decisão multicritério em gestão pública participativa do projeto ADGEPA. Para atingir um dos principais objetivos, propõe-se um assistente digital (para favorecer gerenciamento público participativo) composto de: uma aplicação web responsiva e miniestações para coleta de dados socioambientais; um Agente para minerar dados, buscar padrões

e associações em dados, e ranquear aspectos socioambientais mais associados com as principais denúncias feitas pelos usuários. Além desses dois componentes, foi apresentada a MABS para superar a restrição temporal (sem a simulação, será preciso muito tempo para popular a base de dados). Para testar o ASD inicialmente, foram utilizados dados completamente aleatórios. Porém, acredita-se que o desempenho e a proposta do ASD é interessante (assim como o ADGEPA, o ASD tem recebido críticas positivas em diversos fóruns). Assim que os dados simulados estiverem disponíveis, o ASD poderá ser criticado por especialistas do domínio e tomadores de decisão, com base em suas experiências e entendimentos acerca de correlação entre aspectos socioambientais.

Pelo uso do método de decisão multicritério da Soma Ponderada foi possível fazer ranqueamentos automáticos das opções disponíveis (as denúncias sobre os problemas socioambientais). Vale ressaltar que o ranqueamento não foi feito simplesmente pela consideração dos aspectos mais denunciados pelos usuários, foi considerado também a associação dos aspectos denunciados com outros aspectos e os pesos dos aspectos dos grupos de aspectos socioambientais. O ASD, considera os principais clamores dos usuários, os problemas socioambientais que tem maior associação entre eles (isso proporciona maior eficiência no uso de recursos financeiros públicos), e o que um administrador entende que é importante (a ponderação foi favorável aos aspectos ambientais). Nesta solução, propõe-se integrar participatividade e tecnocracia.

Acredita-se que este trabalho (em curso) é muito promissor e pode ser útil para auxiliar em gestão pública participativa. Adicionalmente, entende-se também que podem existir padrões e correlações entre aspectos socioambientais que não são muito óbvias e que podem variar de comunidade para comunidade.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem às colaborações dos Profs. Ivanilton José de Oliveira, Philippe Caillou e Zach Lewkovicz. Também agradecem à Profa. Patrícia de Araújo Romão, Alex Pereira Maranhão, Mirelle Cristina Lima Silva e Carlos Henrique Barros Costa por suas participações passadas no trabalho. Esta pesquisa possui financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa de Goiás (FAPEG). Suportes adicionais individuais são fornecidos pelos programas de bolsas da Capes e do CNPq.

Referências

- Akgun, A. A., van Leeuwen, E., and Nijkamp, P. (2012). A multi-actor multi-criteria scenario analysis of regional sustainable resource policy. *Ecological Economics*, 78(0):19 – 28.
- Almeida, A. T., Gomes, C. F. S., and Gomes, L. F. A. M. (2012). *Tomada de Decisão Gerencial - Enfoque Multicritério*. Atlas, 4 edition.
- Briot, J.-P., Sebba Patto, V., Vasconcelos, E., Sordoni, A., Adamatti, D., Irving, M., Melo, G., Alvarez, I., and Lucena, C. (2009). A computer-based support for participatory management of protected areas: The simparc project. In de Aguiar, M. S. and Adamatti, D. F., editors, *Workshop em Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais (WCAMA)*, Bento Gonçalves, RS, Brazil. SBC. in press.

- Ferber, J. (2007). *Agent-Based Modeling and Simulation in The Social and Human Sciences*, chapter Multi-Agent Concepts and Methodologies. The Bardwell Press.
- Gamper, C. D. and Turcanu, C. (2007). On the governmental use of multi-criteria analysis. *Ecological Economics*, 62(2):298 – 307.
- Jun, Z., Junfeng, L., Jie, W., and Ngan, H. (2011). A multi-agent solution to energy management in hybrid renewable energy generation system. *Renewable Energy*, 36(5):1352 – 1363.
- Khadka, C. and Vacik, H. (2012). Use of multi-criteria analysis (mca) for supporting community forest management. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, (2):60–71.
- Khalili, N. R. and Duecker, S. (2013). Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework. *Journal of Cleaner Production*, 47(0):188 – 198. Cleaner Production: initiatives and challenges for a sustainable world {CP} Initiatives Challenges.
- Machado Junior, C., Mazzali, L., Souza, M. T. S. d., Furlaneto, C. J., and Prearo, L. C. (2013). A gestão dos recursos naturais nas organizações certificadas pela norma NBR ISO 14001. *Produção*, 23:41 – 51.
- Ralha, C. G., Abreu, C. G., Coelho, C. G., Zaghetto, A., Macchiavello, B., and Machado, R. B. (2013). A multi-agent model system for land-use change simulation. *Environmental Modelling & Software*, 42(0):30 – 46.
- Santos, R. (2010). Mineração e visualização de dados usando java. <http://www.lac.inpe.br/~rafael.santos/Docs/CTI2010/JavaDMVis.pdf>, Último acesso em Fevereiro de 2014.
- Sebba Patto, V. (2010). *The use of assistant agents for the analysis and decision making in participatory management*. PhD thesis, UFR d’Informatique, Université Pierre et Marie Curie.
- Tian, G., Ouyang, Y., Quan, Q., and Wu, J. (2011). Simulating spatiotemporal dynamics of urbanization with multi-agent systems—a case study of the phoenix metropolitan region, {USA}. *Ecological Modelling*, 222(5):1129 – 1138.
- Vizzari, M. and Modica, G. (2013). Environmental effectiveness of swine sewage management: A multicriteria ahp-based model for a reliable quick assessment. *Environmental Management*, 52(4):1023–1039.
- Wooldridge, M. (2009). *An Introduction to MultiAgent Systems*. Wiley, 2nd. edition.
- Yeh, C.-H. and Xu, Y. (2013). Sustainable planning of e-waste recycling activities using fuzzy multicriteria decision making. *Journal of Cleaner Production*, 52(0):194 – 204.