

SCOLDSS - Sistema de Apoio à Decisão Aplicado ao Planejamento e Distribuição da Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos

Eugênio de Oliveira Simonetto (UNIFRA / PPGA-UFRGS) esosimonetto@unifra.br
Denis Borenstein (PPGA-UFRGS) denisb@ea.ufrgs.br

Resumo

O artigo apresenta um sistema de apoio à decisão aplicado ao planejamento operacional da coleta seletiva de resíduos sólidos (SCOLDSS), o qual tem por funcionalidade principal a geração de alternativas ao processo decisório no que se refere à: (a) alocação de veículos para a coleta seletiva, bem como o roteiro a ser percorrido pelos mesmos e, (b) a determinação da quantidade diária de resíduos sólidos a ser enviado a cada unidade de triagem. Para o desenvolvimento do mesmo foi utilizada a combinação de técnicas advindas da Pesquisa Operacional, que são a simulação computacional de eventos discretos e algoritmos para o problema da alocação e roteamento de veículos. O sistema foi desenvolvido utilizando o ambiente Borland Delphi e, para a simulação foi utilizado o simulador Arena 3.5. Para a validação do SCOLDSS estão sendo utilizados dados da coleta seletiva de um município do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos Sólidos, Sistema de Apoio à Decisão, Coleta Seletiva

1. Introdução

A reciclagem dos resíduos sólidos é uma excelente alternativa para propiciar a preservação de recursos naturais, a economia de energia, redução do material que demanda o aterro sanitário, geração de emprego e renda, conscientização da população para questões ambientais. Porém, para um melhor funcionamento é de vital importância que se implante nas cidades um amplo sistema de coleta seletiva, onde os recicláveis sejam separados nas residências e coletados pelo sistema municipal de coleta seletiva. Apesar de ser uma excelente alternativa para a redução de resíduos com destino aos aterros, apenas 4% dos resíduos são reutilizados ou reciclados nas cidades gaúchas, segundo a FEPAM (Fundação Estadual de Proteção ao Meio-Ambiente). Um dos motivos desta parcela reduzida de reciclagem deve-se ao mau acondicionamento dos resíduos pela população, fato este gerado pela falta de informação acerca da coleta seletiva. Outros fatores que contribuem para o pequeno índice de reciclagem dos resíduos é o alto custo da coleta seletiva para as municipalidades (O'Leary, 1999; Monteiro, 2001) e a falta de um projeto para dimensionar de forma adequada a capacidade de armazenamento e processamento de resíduos nas unidades de triagem.

Além do alto custo da coleta, um fator que contribui bastante para os baixos índices de reciclagem é a falta de atenção dada à capacidade de armazenamento e processamento de resíduos nas unidades de triagem. Muitas vezes, os sistemas de coleta consideram, para a definição da distribuição dos resíduos, somente as distâncias ou os custos de deslocamentos dos pontos de coleta aos depósitos finais (Chang, 2000; Huang, 1998). Tais modelos, devido às características das disposições finais estudadas pelos mesmos, não levam em consideração o fluxo dinâmico de resíduos (entrada / saída) que possuem as unidades de triagem de resíduos recicláveis.

Com o desenvolvimento do SCOLDSS, pretende-se auxiliar o planejamento e distribuição da coleta seletiva de resíduos sólidos, buscando a redução das distâncias percorridas pelos veículos de coleta e, também, a redução da quantidade de resíduos desperdiçados devido à falta de controle na capacidade de processamento de trabalho nas unidades de triagem. Observa-se que na literatura sobre gestão de resíduos que as disposições finais consideradas pelos mesmos são geralmente ou o aterro sanitário, ou os incineradores, havendo uma desconsideração das unidades de triagem. O único artigo a tratar da disposição final de resíduos potencialmente recicláveis (Huang, 1998), o faz de maneira similar ao tratamento

dados aos aterros sanitários, desconsiderando o fluxo dinâmico de entrada e saída de resíduos, característica das unidades de triagem de resíduos sólidos.

Para o desenvolvimento do sistema computacional apresentado no artigo foram utilizadas técnicas quantitativas oriundas da Pesquisa Operacional, tais como a simulação discreta e algoritmos para a resolução do roteamento de veículos. O objetivo do uso destas técnicas é objetivar o processo decisório, pois muitas das vezes, as decisões sobre o planejamento da gestão dos resíduos sólidos são tomadas baseadas somente na experiência dos gestores (Chang, 1996). Fato este, que segundo este autor, contribui para o alto custo e o baixo desempenho dos sistemas de coleta de resíduos nas cidades. A utilização de ferramentas de Pesquisa Operacional (PO) na Gestão de Resíduos Sólidos surge como uma alternativa viável para o tratamento da complexidade inerente ao processo de coleta seletiva de resíduos sólidos, pois através do uso destas ferramentas pode-se representar uma situação do mundo real, estudar seu comportamento (via execução de modelos formais) e tomar decisões com base nas conclusões extraídas. Vários autores (Huang, 1998; Chang, 2000; Chung, 1996) já utilizaram técnicas e métodos da PO para desenvolver estudos na área de coleta de resíduos sólidos.

O artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 são apresentados conceitos acerca da coleta seletiva de resíduos sólidos, na seção 3 é descrito o sistema de apoio à decisão – SCOLDSS, enfatizando-se sua arquitetura e sua formulação matemática. Na seção 4 são apresentados dados relativos à primeira etapa de validação do sistema e, por fim, na seção 5 são apresentadas as considerações finais do artigo.

2. A Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos

A coleta seletiva é o modelo mais empregado nos programas de reciclagem e consiste na separação, pela população, dos materiais recicláveis existentes nos resíduos domésticos para que posteriormente os mesmos sejam coletados por um veículo específico (O'Leary, 1999). A separação dos materiais recicláveis nas residências pode ser feita individualizando-se os materiais recicláveis e acondicionando-os em contêineres diferenciados ou agrupando-os em um único recipiente (Chang, 2000). O fundamento deste processo é a separação, pela população, dos materiais recicláveis (compostos inorgânicos) do restante do lixo (compostos orgânicos), que é destinado a aterros ou usinas de compostagem.

A implantação da coleta seletiva é um processo contínuo, o qual é ampliado gradativamente. O primeiro passo, diz respeito à realização de campanhas informativas de conscientização junto à população, convencendo-a da importância da reciclagem e orientando-a para que separe o lixo em recipientes para cada tipo de material. A instalação de postos de entrega voluntária em locais estratégicos possibilita a realização da coleta seletiva em locais públicos, tais como, conjuntos habitacionais, *shopping centers* e edifícios comerciais e públicos.

Posteriormente, deve-se elaborar um plano de coleta, definindo equipamentos, veículos, áreas e a periodicidade de coleta dos resíduos. A regularidade e eficácia no recolhimento dos materiais são importantes para que a população tenha confiança e se disponha a participar. Finalmente, é necessária a instalação de unidades de triagem para a limpeza e separação dos resíduos e o acondicionamento para a venda do material a ser reciclado. Na maioria das cidades onde existe o sistema, os roteiros de coleta seletiva são realizados semanalmente, caso de Porto Alegre (DMLU, 2004). Em algumas cidades do Japão, como Osaka, a frequência de coleta é bi-semanal.

Após a coleta, os materiais recicláveis devem ser transportados para uma unidade de triagem, equipada com lugares para catação, para que seja feita uma separação mais criteriosa dos materiais visando à comercialização dos mesmos. As unidades de triagem devem ser dotadas de prensas para que os materiais recicláveis de menor peso específico (papéis e plásticos) possam ser enfardados para facilitar a estocagem e o transporte dos mesmos. É importante que a população seja devidamente orientada para que somente sejam separados, como lixo seco,

os materiais que possam ser comercializados, evitando-se despesas adicionais com o transporte e manuseio de rejeitos, que certamente serão produzidos durante o processo de seleção por tipo de material e no enfardamento.

Após a implantação da coleta seletiva, o poder público deve manter a população permanentemente mobilizada através de campanhas de sensibilização e de educação ambiental (Chang, 2000).

3. SCOLDSS - O Sistema de Apoio à Decisão Proposto

O sistema de apoio à decisão *SCOLDSS* foi construído baseado nas pesquisas bibliográficas e observações *in loco* do processo de coleta e distribuição dos resíduos sólidos provenientes da coleta seletiva. Com o desenvolvimento e implementação deste sistema busca-se subsidiar o processo de tomada de decisões operacionais dos gestores da área de resíduos sólidos (Goldberg, 2000) no que se refere à logística dos resíduos sólidos, desde a fase de coleta até a fase de entrega dos resíduos, nas unidades de triagem. Basicamente o sistema contribuirá através da geração e análise de possíveis cenários de operação deste tipo de coleta. Considera-se no estudo desenvolvido que as etapas para implantação da coleta seletiva (equipamentos, recursos humanos, áreas e periodicidade da coleta seletiva) já estejam devidamente definidas.

A metodologia para o desenvolvimento do *SCOLDSS* foi a mesma adotada para o desenvolvimento de modelos em Pesquisa Operacional (Law, 1991). O desenvolvimento foi estruturado da seguinte forma: (1) estudos exploratórios, na qual o problema foi identificado e estruturado; (2) desenvolvimento da solução, pela construção de modelos formais capazes de representar o problema; (3) implementação computacional da solução, utilizando-se a tecnologia de sistemas de apoio à decisão; (4) validação da solução, através de testes em laboratório e em campo, para verificar se os resultados obtidos estão de acordo com a realidade observada. A validação foi desenvolvida com a utilização de dados históricos da área de resíduos sólidos recicláveis do Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre e, através da participação de especialistas em gestão de resíduos e pesquisadores na área.

Para o desenvolvimento do *SCOLDSS* foi utilizada a arquitetura de sistemas de apoio à decisão proposta por Sprague (1991), a qual é composta por três subsistemas básicos: banco de dados, modelo decisório e interface, os quais serão apresentados nas próximas subseções. A arquitetura do *SCOLDSS* é apresentada na figura.

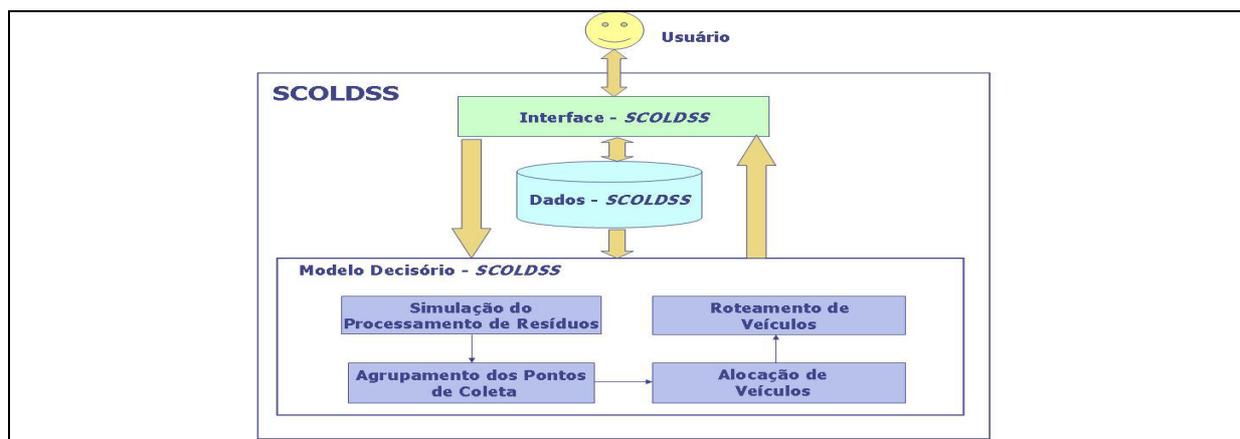


Figura 1 – Representação da arquitetura de Sprague (1991) no *SCOLDSS*

3.1 - Subsistema banco de dados

A premissa básica para a construção do subsistema banco de dados do *SCOLDSS* foi a de selecionar dados, os quais fossem de vital importância à geração de informações para os gestores, bem como para o subsistema modelo, o qual trabalhará, basicamente, utilizando os

dados deste subsistema. Para o desenvolvimento do banco de dados foram utilizados: trabalhos realizados anteriormente a este estudo (Huang 1998, Chung, 1996, Chang, 2000), manuais técnicos relativos à área de Gestão de Resíduos Sólidos (O’Leary, 1999; Monteiro, 2001), bem como de entrevistas para levantamento de requisitos junto à especialistas em gestão de resíduos sólidos. Esta estrutura também foi utilizada como base de dados para o desenvolvimento do Sistema de Informação para a Coleta Seletiva de Resíduos (*SICOLSE*) (Simonetto, 2003). O diagrama entidade-relacionamento do subsistema banco de dados do *SCOLDSS* pode ser visualizado na figura.

3.2 - Subsistema Modelo Decisório

O subsistema modelo do *SCOLDSS* foi concebido utilizando-se duas técnicas distintas da Pesquisa Operacional: a simulação computacional de eventos discretos e o desenvolvimento de heurísticas para o problema do roteamento de veículos. A utilização destas duas técnicas é justificada pela natureza distinta dos problemas tratados, primeiro, a determinação da capacidade de processamento de resíduos e, segundo, a determinação do escoamento do fluxo de resíduos, em consequência, do resultado das simulações. Baseado na integração da simulação do processamento de resíduos nas unidades de triagem, para a determinação da capacidade de processamento de resíduos em um dia e, a execução do problema do roteamento de veículos com múltiplos depósitos, serão determinados os percursos dos veículos de coleta de resíduos, bem como o destino final dos resíduos por eles transportados.

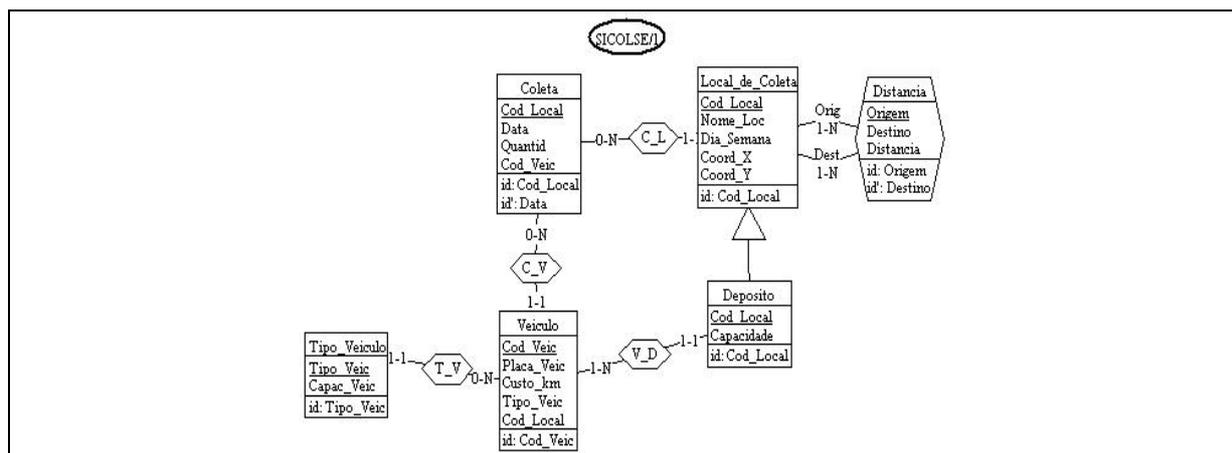


Figura 2– Diagrama entidade-relacionamento do modelo de dados do *SCOLDSS*

3.2.1 - A Simulação de Eventos Discretos no *SCOLDSS*

Quando da utilização do sistema de apoio à decisão, o usuário irá informar: o dia da semana para o qual será efetuado o planejamento da coleta seletiva, o mês do ano (de forma a considerar as eventuais sazonalidades existentes no processo); as unidades de triagem de resíduos operantes, para que seja determinada a quantidade máxima de matéria prima pós-consumo (em kg), que cada unidade em operação, é capaz de processar diariamente.

Nesta primeira etapa de utilização do modelo decisório executa-se um modelo de simulação computacional de eventos discretos, implementada no simulador *Arena 3.5*, para a determinação da capacidade de processamento de resíduos em cada unidade de triagem. Tal determinação faz-se necessária pela particularidade encontrada no caso de resíduos potencialmente recicláveis originada pelo fluxo de entrada e saída deste tipo de resíduo nas unidades de triagem. Ambos os fluxos não são verificados em se tratando dos resíduos sólidos que são direcionados ao aterro sanitário, pois neste tipo de disposição final, não existe a saída dos resíduos sólidos (somente a entrada de resíduos) (Chang, 2000; Huang, 1998; DMLU, 2004). Para o desenvolvimento do modelo de simulação são necessárias as seguintes informações:

- Média total diária de resíduos a serem coletados pelos veículos (em kg);
- entrada de resíduo sólido proveniente da coleta seletiva (em kg);
- depósito dos resíduos em espaço físico limitado (kg por m³);
- seleção dos resíduos pelos trabalhadores (em kg por minuto);
- resíduos já processados armazenados (em kg).

Nesta última etapa, tanto os resíduos selecionados para retornarem ao mercado, como os que terão como destino o aterro sanitário, têm de serem levados em consideração pela simulação, pois ambos ocupam espaço físico temporariamente e, também, consomem um determinado tempo para serem processados pelos trabalhadores. Para simular a quantidade máxima de resíduos a ser processada diariamente em cada unidade de triagem é levada em consideração a média total coletada diariamente de resíduo sólido potencialmente reciclável, de acordo com o dia da semana e o mês do ano e, a capacidade de processamento em quilograma por minuto de trabalho em cada unidade. Para tanto, considera-se também no modelo de simulação eventuais interrupções no trabalho (almoço, troca de equipe de trabalho) e a variação da produção de um turno para outro.

Para a distribuição dos resíduos sólidos durante a simulação foi utilizado o componente *Pickstation* do simulador *Arena 3.5*, o qual seleciona a unidade para enviar-se a matéria-prima, em ordem de precedência, de acordo com: o número de recursos utilizados (de modo a evitar ociosidade) e, pela quantidade de matéria-prima pós-consumo aguardando para ser processada. A informação gerada pela primeira fase do modelo decisório é a demanda de resíduos sólidos (em kg) que cada unidade de triagem é capaz de processar em um determinado dia de trabalho, obtida pela média das n execuções da simulação.

A capacidade de processamento de resíduos em cada unidade de triagem é integrada ao modelo decisório na forma de restrição de capacidade ao problema do roteamento de veículos com vários depósitos e frota heterogênea. A restrição garante que nenhuma unidade de triagem receba uma quantidade de resíduos maior que a sua capacidade de processamento simulada. Além de garantir que nenhuma unidade receba material a mais do que sua capacidade, também foi inserida no modelo decisório uma restrição que garantisse um percentual mínimo de chegada de resíduo em cada unidade de triagem, na forma de percentual, a qual foi denominada Restrição de Demanda Mínima. A restrição de demanda mínima possui a finalidade de garantir uma quantidade mínima de material de trabalho a cada uma das unidades e, é determinada a partir de um cálculo percentual sobre a capacidade máxima de processamento de cada unidade de triagem.

3.2.2 - Agrupamento de Pontos de Coleta e Alocação de Veículos

A fase subsequente da utilização do modelo decisório caracteriza-se por possuímos n unidades de triagem (com a demanda já definida pela primeira fase do modelo) e m pontos de coleta com oferta de resíduo sólido reciclável a serem coletados pelos veículos. Tal descrição denota claramente o problema do roteamento de veículos com vários depósitos, onde, para a resolução, foi utilizada a abordagem proposta por (Gillet, 1974), implementadas na forma de heurísticas do tipo “agrupar para depois rotar”. Nesta abordagem, primeiramente devem-se associar pontos de coleta às unidades de triagem específicas. Ou seja, é executada uma determinação do tipo “os resíduos do ponto de coleta x serão enviados para a unidade de triagem y ”. Como resultado desta fase tem-se, separado por unidade de triagem, os pontos de coleta que enviarão material para cada uma delas (unidades). Nesta etapa também é garantido o percentual mínimo de chegada de matéria prima pós-consumo (em kg) em cada uma das unidades de triagem, de acordo com a capacidade máxima de processamento fornecida pela primeira fase do modelo decisório.

Após o procedimento de agrupamento dos pontos de coleta, é efetuada a rotina de alocação dos veículos para a coleta seletiva. Para o desenvolvimento da alocação foi implementado no

SCOLDSS o algoritmo simplex (Goldbarg, 2000), de uma forma que não se considerasse no modelo decisório cada veículo individualmente, pois assim sua resolução poderia comprometer no aspecto tempo de resposta o desempenho do sistema como um todo. Para a resolução da alocação foram considerados os tipos de veículos, ou seja, os diversos veículos da frota foram classificados conforme as suas capacidades de carga. Com isto, consegue-se um processamento mais rápido do modelo, evitando possíveis explosões combinatórias no espaço de soluções.

Como resultado final do processamento desta etapa tem-se estipulada a quantidade em quilogramas que um determinado tipo de veículo k irá transportar para uma unidade de triagem i . Porém, se a resolução envolver vários tipos distintos de veículos é necessário utilizar abordagens avançadas (metaheurísticas) para a resolução da alocação, tais como, a busca-tabu, algoritmos genéticos ou *simulated annealing*, pois o algoritmo simplex comporta-se bem somente em problemas de pequeno e médio espectro (Cordeau, 2002).

3.2.3 - Determinação do Roteiro da Coleta Seletiva

Após a estimativa da quantidade máxima de processamento de resíduos por unidade; a determinação do envio do resíduo coletado em cada ponto para uma unidade de triagem específica; da estipulação da quantidade de resíduo mínimo a chegar em cada unidade de triagem; e dos veículos alocados para execução da coleta, reduz-se o problema à configuração do problema de roteamento de veículos com um único depósito (Cordeau, 2002). Como cada depósito (unidade de triagem) já possui uma determinação de quais os pontos de coleta lhe enviarão material para processamento, é necessário somente estabelecer a ordem que cada ponto de coleta será visitado. Para se garantir bons resultados nesta etapa, optou-se por utilizar o algoritmo para roteamento de veículos proposto por Renaud (2002), o qual é aplicado a problemas com frota heterogênea de veículos e apresenta excelentes resultados com problemas reais de roteamento. Para a determinação da oferta de resíduo em cada ponto de coleta, a qual é uma das restrições componentes do problema de roteamento de veículos, é utilizada a média de coleta (em kg) no ponto de coleta. A quantidade média é estimada conforme o dia e o mês de coleta.

Nesta etapa, o objetivo é a geração das rotas de coleta a serem percorridas, bem como as atribuições de qual veículo deve percorrer cada rota. Após o processamento das rotinas é gerada uma resposta com a seguinte estrutura: para a unidade de triagem x , o veículo n irá percorrer as pontos de coleta a , b e c (nesta ordem). No *SCOLDSS*, o resultado é apresentado na forma de rotas em um relatório gráfico com mapa ilustrativo dos locais a serem percorridos, para facilitar a comunicação com os usuários.

Devido à execução do algoritmo de roteamento realizar-se nesta etapa do modelo, necessita-se que as estruturas básicas para o funcionamento do mesmo também sejam desenvolvidas, necessitando-se as seguintes informações:

1. Da unidade de triagem para a qual será realizado o planejamento;
2. dos pontos de coleta selecionados para enviarem o resíduo à unidade (oriundos da fase de agrupamento);
3. da distância entre os pontos de coleta, bem como a distância destes até a unidade de triagem;
4. da média de oferta de resíduo de cada ponto de coleta para o mês determinado na seleção;
5. dos veículos alocados à unidade de triagem para execução da coleta seletiva;
6. da capacidade de carga de cada veículo alocado.

Após esta fase, os resultados são apresentados aos usuários para que apliquem no planejamento ou sirvam de auxílio para a geração de novos cenários. Os resultados são gerados de forma textual ou através de relatórios gráficos, com mapas do planejamento diário de coleta (Figura 5).

3.3 - Subsistema Interface

Para o desenvolvimento do subsistema interface do *SCOLDSS* foi levada em consideração a amigabilidade (*user-friendly*) da mesma para com os possíveis usuários finais, os gestores da área de resíduos sólidos, que não possuem a obrigação de serem especialistas na área computacional. Exemplos da interface do *SCOLDSS* podem ser visualizados na figura 3, as quais são respectivamente, o modelo de relatório gerado e a interface principal do sistema.

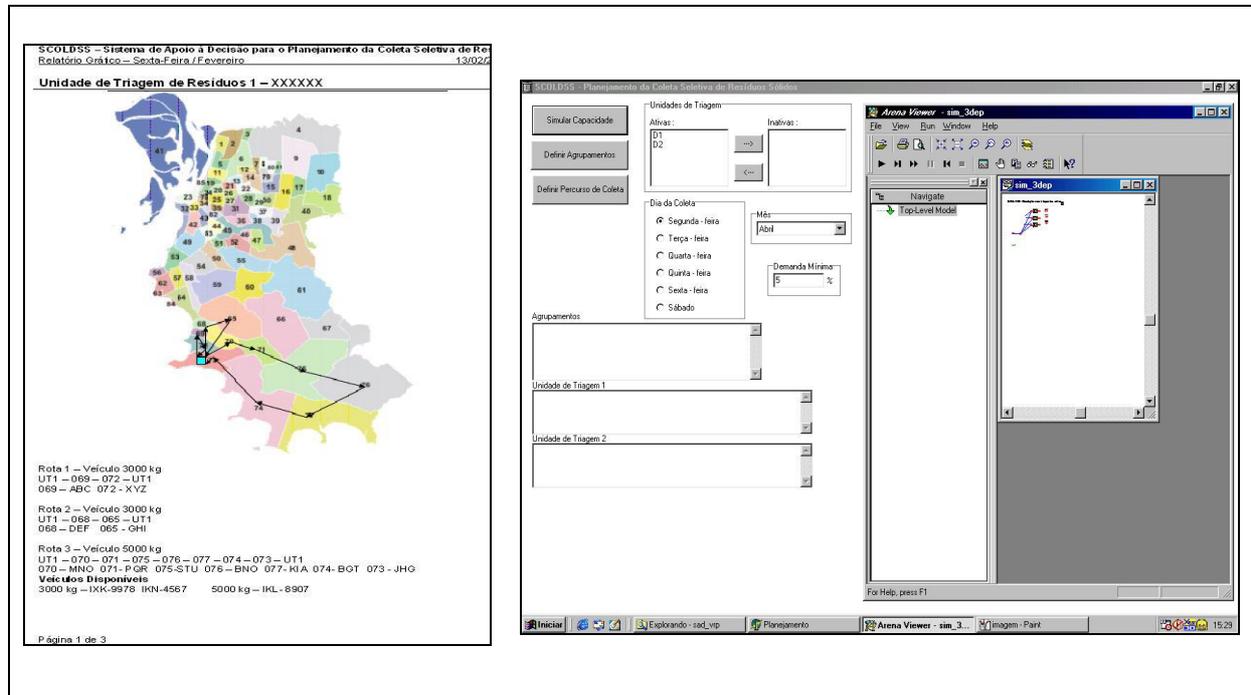


Figura 3 – Representação básica da interação do *SCOLDSS* com os usuários

4. Validação do *SCOLDSS*

O sistema *SCOLDSS* consiste do desenvolvimento de modelos quantitativos e de simulação para o planejamento operacional da coleta seletiva de resíduos sólidos. Como um modelo pode ser definido como “representação do mundo real” (Goldbarg, 2000) temos que fazer com que o comportamento da representação seja o mesmo (ou mais próximo possível) da realidade em questão, sob determinadas condições especificadas. A este processo denomina-se validação de modelo.

Para a validação do módulo de simulação da capacidade de processamento de resíduos diário das unidades de triagem foram utilizados dados reais de uma unidade. Nesta validação o sistema comportou-se de maneira correta, com um desvio médio de 0.8% dos dados reais coletados, o que não compromete o desempenho do sistema, tendo em vista que a simulação trata da capacidade máxima de processamento.

Na validação da alocação e do roteamento de veículos os resultados foram bastante significativos. Para esta validação foi utilizado um problema de coleta de resíduos sólidos apresentado em Larson (1999), o qual é um problema real com dimensões diminutas. Porém, o algoritmo de Renaud (2002) apresentou significativas melhorias aos resultados apresentados. Para o roteamento, Larson (1999) utilizou a heurística *savings* e um procedimento de melhoria do resultado (*2-Opt*) gerado pela heurística. Em ambos os casos, o algoritmo de Renaud (2002) foi superior aos resultados apresentados. Em relação ao *savings* o algoritmo apresentou resultados com custos menores na ordem de 14.4 % e, com relação ao procedimento de melhoria *2-Opt* o algoritmo apresentou resultados com custo mais baixos na ordem de 3.2%.

A validação de face do *SCOLDSS* foi desenvolvida com a participação de potenciais usuários (acadêmicos e profissionais) do sistema, que após receberem instruções sobre o funcionamento, o utilizaram com intuito de verificar a facilidade de uso e a correção do mesmo. O *SCOLDSS*, segundo os usuários, é de fácil usabilidade e apresenta uma significativa contribuição para os gestores da área.

5. Considerações Finais

O artigo teve como objetivo principal apresentar um sistema de apoio à decisão (*SCOLDSS*) concebido para auxiliar gestores da área de resíduos sólidos no planejamento operacional da coleta seletiva. Basicamente, para a especificação dos requisitos e desenvolvimento do mesmo foi desenvolvida uma pesquisa em artigos científicos relativos, observações *in loco*, tanto do processo de coleta, quanto do processamento dos resíduos nas unidades de triagem e, posteriormente, feita a validação do sistema junto a gestores da coleta de resíduos.

Em uma primeira fase de validação do *SCOLDSS*, pôde-se constatar que o mesmo apresenta um comportamento compatível com a realidade, no caso da simulação do processamento de resíduos nas unidades e, uma melhoria significativa dos resultados no roteamento de veículos, através da utilização do algoritmo de Renaud (2002), no problema apresentado por Larson (1999). Atualmente, está em desenvolvimento a validação do *SCOLDSS* através de um estudo de caso com um problema de grandes dimensões referentes à coleta seletiva de Porto Alegre-RS. Para este estudo, os dados estão sendo fornecidos pelo Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) do município.

Referências Bibliográficas

- Chang, N.; Wei, Y. Siting recycling drop-off in urban area by genetic algorithm-based fuzzy multiobjective nonlinear integer programming modeling. *Fuzzy Sets and Systems*, 114, pp.133-149, 2000.
- Chung, S.S.; Poon, C.S. Evaluating waste management alternatives by the multiple criteria approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 17, pp.189-210, 1996.
- Cordeau, J.F.; et al. A guide to vehicle routing heuristics. *Journal of the Operational Research Society*, 53, pp.512-522, 2002.
- Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre. In: <http://www.portoalegre.rs.gov.br/dmlu/coletas.htm>. Acessado em 10/02/2004.
- Fisher, M.; Jaikumar, R. A generalized assignment heuristics for vehicle routing. *Networks*, 11, pp. 109-124, 1981.
- Gillet, B.; Miller, L.R. A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem. *Operations Research*, 22, pp.340-349, 1974.
- Goldbarg, M.C.; Pacca Luna, H. Otimização combinatória e programação linear. Campus, 2000.
- Huang, G.H.; Baetz, B.W.; Patry, G.G. Trash-Flow Allocation: Planning Under Uncertainty. *Interfaces*, Vol. 28, No. 6, pp. 36-55, Nov-Dec, 1998.
- Larson, R.C.; Odoni, A.R. *Urban Operations Research*. Massachusetts Institute of Technology, 1999. Disponível na Web em: http://web.mit.edu/urban_or_book/www/book/
- Law, A.M., Kelton, W.D. *Simulation Modeling & Analysis*. 2^a Ed., McGraw-Hill, 1991.
- Monteiro, J.H.P.; et al. *Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2001.
- O'Leary, P.R.; et al.. *Decision Maker's Guide to Solid Waste Management*. Vol. 2. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1999.
- Renaud, J.; Boctor, F.F. A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 140, pp. 618-628, 2002
- Simonetto, E.O.; Borenstein, D.; Dotto, B.R. SICOLSE – Um Sistema de Informação para à Gestão da Coleta Seletiva de Resíduos. *Anais do XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. UFOP-ABEPRO, Ouro Preto-MG, Outubro, 2003.
- Sprague, R.; Watson, H. *Sistemas de Apoio à Decisão: Colocando a Teoria em Prática*. Rio de Janeiro, Campus, 1991.