

### III-343 - FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS VOLTADAS AO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: UM ESTUDO DO PANORAMA BRASILEIRO E MUNDIAL

**Hosmanny Mauro Goulart Coelho<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre, Doutor e Pós-Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Especialista em Fontes Alternativas de Energia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) e MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV).

**Lineker Max Goulart Coelho**

Engenheiro Civil pela UFMG e pela Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC). Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental Ecole des Ponts Paris Tech (ENPC). Professor assistente da Universidade Federal de Viçosa – Campus de Rio Paranaíba.

**Alessandra Lee Barbosa Firmo**

Engenheira Química pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre e Doutora em Engenharia pela UFPE. Professor/Pesquisadora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE).

**José Fernando Thomé Jucá**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutor pela Universidade Politécnica de Madri, Pós-Doutor pela Universidade de São Paulo (USP). Professor/Pesquisador da UFPE.

**Gustavo Henrique Tetzl Rocha**

Engenheiro Metalúrgico pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Antônio Carlos, 6627 – Escola de Engenharia – Campus Pampulha – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Bloco 2 – Sala 4628 – Belo Horizonte – Minas Gerais – CEP: 30270-901 – Brasil - Tel: +55 (31) 3409-1039 - Fax: +55 (31) 3409-1879 - e-mail: [hosmanny@hotmail.com](mailto:hosmanny@hotmail.com)

#### RESUMO

A destinação dos resíduos sólidos produz impactos diversos ao meio-ambiente e trata-se de um processo complexo que envolve vários fatores necessitando análises aprofundadas dos vários aspectos envolvidos. Sendo assim as ferramentas de apoio gerenciamento de resíduos sólidos (GRS) são instrumentos fundamentais para auxiliar na gestão e controle do sistema. O presente trabalho tem por finalidade apresentar um estudo do panorama geral no Brasil e no Mundo das diferentes ferramentas computacionais voltadas ao gerenciamento de resíduos sólidos bem como apresentar suas principais funções, as tendências de mercado e as novas linhas de pesquisa voltadas para o desenvolvimento destes instrumentos. Para a realização do estudo foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica bem como recorreu-se a websites, catálogos e relatórios técnicos de empresas do setor de resíduos sólidos de modo a obter informações sobre as principais ferramentas presentes no mercado brasileiro e internacional. Foram levantados 33 softwares voltados para o setor de RSU. A partir deste levantamento e analisando as características de cada ferramenta foram feitas análises buscando-se correlacionar estas informações de modo a buscar evidenciar tendências de mercado. Nota-se que grande parte das novas ferramentas incorporam análises de ciclo de vida (ACV) dos resíduos e tem buscado considerar não apenas aspectos técnico e econômicos, mas também impactos ambientais. Outra tendência observada é a possibilidade de acesso remoto aos softwares. Nota-se ainda que os softwares apresentam-se cada vez mais flexíveis e adaptáveis à realidade local.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ferramenta Computacional, Tratamento de Resíduos, Resíduos Sólidos, Gerenciamento de Resíduos.

#### INTRODUÇÃO

Há, atualmente, uma crescente preocupação relacionada ao gerenciamento dos resíduos sólidos, uma vez que, todos os dias, milhões de toneladas destes são geradas.

De fato, os altos níveis de consumo e consequentemente o acelerado desenvolvimento industrial observado em varias partes do mundo tem levado a um aumento da geração de resíduos sólidos. O total de resíduos sólidos gerados no Brasil em 2012 foi de 76387200 toneladas (ABRELPE, 2013). Comparando os dados de 2012 (76387200 toneladas) com os de 2011 (61.936.368 toneladas) nota-se um aumento de 4,1% contra aumentos de 1,9% de 2010 para 2011 e de 6,8% de 2009 para 2010. (FADE, 2013)

De acordo com o Banco Mundial (2012) cerca de 1,3 bilhões de toneladas de resíduos sólidos são geradas anualmente e estima-se que esta quantidade vai aumentar para 2,2 bilhões até 2025. Ao mesmo tempo o gerenciamento de resíduos sólidos tem ganhado importância porque a disposição inadequada de resíduos sólidos pode acarretar vários impactos negativos ao meio ambiente.

Assim, torna-se necessária a implantação de medidas que visem reverter essa situação. Em um quadro geral, isso pode ser realizado por meio da conscientização da sociedade e, mais especificamente, pelo estabelecimento de padrões de qualidade ambiental a serem seguidos e pelo desenvolvimento de ferramentas de apoio ao gerenciamento de resíduos sólidos (GRS). Diante disso, é importante conhecer as ferramentas computacionais de apoio à decisão voltadas ao gerenciamento de resíduos sólidos, disponíveis no mercado, avaliando suas características e aplicabilidade à realidade brasileira.

O presente trabalho tem por finalidade apresentar um estudo do panorama geral no Brasil e no Mundo das diferentes ferramentas computacionais voltadas ao gerenciamento de resíduos sólidos bem como apresentar suas principais funções, as tendências de mercado e as novas linhas de pesquisa voltadas para o desenvolvimento destes instrumentos.

## **METODOLOGIA UTILIZADA**

Para a realização do estudo foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica bem como recorreu-se a websites, catálogos e relatórios técnicos de empresas do setor de resíduos sólidos de modo a obter informações sobre as principais ferramentas presentes no mercado brasileiro e internacional. Após determinar uma listagem destes instrumentos buscou-se classificá-los em termos de:

- Desenvolvedor principal;
- País de origem;
- Cliente alvo: Setor Privado, ou órgãos públicos;
- Etapa em que atua: Coleta, transporte, estocagem, transbordo, triagem, processamento, tratamento, disposição final;
- Tipo de resíduo: Resíduo sólido urbano ou resíduo industrial
- Aspectos que considera: Ambientais, econômicos, sociais, políticos, técnica.
- Tipo de ferramenta: Apoio a decisão, gerenciamento, planejamento.

A partir deste levantamento foram feitas análises buscando-se correlacionar estas informações de modo a buscar evidenciar tendências de mercado.

## **RESULTADOS OBTIDOS**

### **SOFTWARES CATALOGADOS**

Foram encontrados 33 softwares voltados para o setor de resíduos sólidos conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2, que mostram resumidamente algumas das principais características destes. Nota-se que existem softwares voltados para todas as etapas do GRS, oferecendo serviços diferentes (gerenciamento, apoio a decisão, planejamento) e considerando aspectos distintos (ambiental, econômico, social, político).

### **PANORAMA INTERNACIONAL**

Internacionalmente por meio do estudo das ferramentas existentes nota-se que os novos modelos têm buscado realizar análises integradas do sistema de GRS. Ressalta-se que já existem varias ferramentas que auxiliam em todas as etapas do sistema GRS (coleta, transporte, processamento, tratamento e disposição final), porém, grande parte destes softwares apresentam módulos independentes para cada uma destas etapas havendo pouca ou nenhuma interação entre estes módulos.

Isso pode comprometer as análises visto que nem sempre o conjunto das melhores soluções individuais de cada etapa resulta na melhor alternativa global do sistema de GRS devido à compatibilidade destas entre si. Sendo assim, atualmente notam-se o surgimento de softwares que buscam encarar o GRS como um sistema integrado. Para isso eles possuem algoritmos responsáveis pela interação entre os módulos buscando compatibilizar as soluções de cada etapa de modo a fornecer a melhor solução para o sistema de GRS como um todo.

Além disso, percebe-se também que os softwares mais recentes tem incorporado em suas análises fatores ligados a aspectos ambientais e sociais de modo a permitir análises não apenas econômicas mas também à luz dos demais princípios da sustentabilidade.

**Tabela 1: Informações dos principais softwares voltados para o setor de RSU – Parte I.**

<b>Ferramenta</b>	<b>Origem</b>	<b>Tipo de resíduo</b>	<b>Tipo de análise</b>	<b>Tipo de ferramenta</b>
AWAST	Alemanha, França, Portugal	Urbano	Técnica, econômica e ambiental	Planejamento estratégico e Apoio à decisão
Compliance Suite Waste Management Software	EUA	Industrial	Análise técnica e financeira	Gerenciamento e apoio à decisão
EASEWASTE	Dinamarca	Urbano	Técnica e ambiental	Apoio à decisão
ECOBIO	França	Biodegradáveis	Técnico-Econômica	Apoio à decisão
E-Impact	França	Urbano e industrial	Análise técnica e ambiental	Apoio à decisão
Elomos	Reino Unido	Urbano	Administrativa e Financeira	Gerenciamento
ERA Waste Management Software	EUA	Industrial	Administrativa, financeira e Traçabilidade	Gerenciamento
Ferramenta IST	Brasil	Urbano	Econômica, Ambiental, Social	Apoio a decisão
Geoware 4	Canadá	Urbano e industrial	Administrativa, Traçabilidade	Gerenciamento
GHG Tracker	França	Urbano e industrial	Técnico-Ambiental	Cálculo de indicadores
GRS3	Brasil	Resíduo de Serviço de Saúde	Administrativa, Traçabilidade	Gerenciamento
IDRSI	Brasil	Industrial	Ambiental	Apoio a decisão
IT+L	Brasil	Urbano e Industrial	Ambiental	Apoio a decisão
IUWA Waste Manager	China / Alemanha	Urbano	Administrativa, financeira e análise técnica e ambiental	Gerenciamento
LCA-IWM	Alemanha	Urbano	Técnica e socioeconômica.	Planejamento estratégico e Apoio à decisão
My Yard	Reino Unido	Urbano	Administrativo e Financeiro	Gerenciamento
ORMA	Itália	Industrial	Análise técnica	Planejamento estratégico e Apoio à decisão
ORWARE	Suécia	Urbano e industrial	Análise técnica e ambiental	Apoio à decisão
Pilotrace	França	Resíduo de Serviço de Saúde e Resíduos Eletro Eletrônicos	Administrativo, Traçabilidade	Gerenciamento
Recon (Recycled Content)	EUA	Urbano e industrial	Análise ambiental	Apoio à decisão

**Tabela 2: Informações dos principais softwares voltados para o setor de RSU – Parte II.**

<b>Ferramenta</b>	<b>Origem</b>	<b>Tipo de resíduo</b>	<b>Tipo de análise</b>	<b>Tipo de ferramenta</b>
Reflows	Grécia	Urbano	Análise técnica e econômica	Apoio à decisão
SAGER	Brasil	Urbano e industrial	Análise técnica e ambiental	Apoio à decisão
SCARI	Brasil	Industrial	Administrativo, Traçabilidade	Gerenciamento
SCOLDSS	Brasil	Urbano	Análise técnica e econômica	Apoio à decisão
SE Waste	Brasil	Industrial	Administrativo, Traçabilidade	Gerenciamento
SIGIL	Brasil	Urbano	Administrativo e Financeiro	Apoio à decisão e Gerenciamento
SIMGERE	Brasil	Urbano	Análise técnica e econômica	Apoio à decisão
SIWA	Itália	Urbano	Análise ambiental, financeira e política	Apoio à decisão
SWA-Tool	Áustria	Urbano e industrial	Análise técnica	Padronização
WARM (Waste Reduction Model)	EUA	Urbano e industrial	Análise ambiental	Apoio à decisão
Waste Ecological Footprint	França	Urbano	Análise técnica e ambiental	Planejamento estratégico e Apoio à decisão
WasteWORKS	EUA	Urbano	Administrativo Financeiro/Contábil	Gerenciamento
WISARD	França	Urbano e industrial	Avaliação ambiental	Planejamento estratégico e Apoio à decisão

## PANORAMA NACIONAL

O início da aplicação de ferramentas computacionais no setor de resíduos sólidos no Brasil remonta a década de 90 quando a prefeitura da cidade de São Paulo passou utilizar o software SIGIL (Sistema Informatizado de Gerenciamento Integrado de Limpeza Pública). Desde então outros modelos de apoio ao setor de resíduos foram desenvolvidos no Brasil tanto pela iniciativa privada quanto pela área acadêmica. (COELHO, 2011)

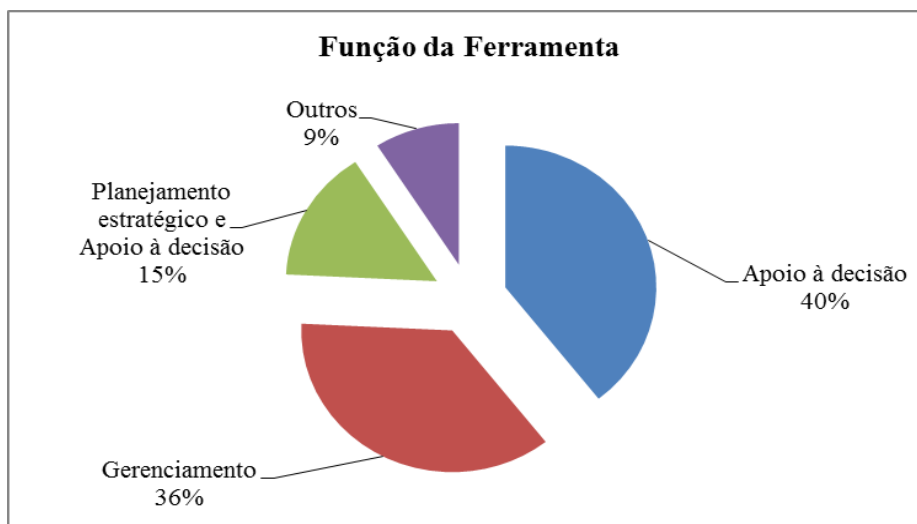
Ressalta-se que o crescente interesse pelo desenvolvimento de ferramentas para o setor de resíduos no Brasil acompanha a atual tendência mundial de um engajamento e mobilização maior da sociedade com questões ligadas ao meio ambiente e a sustentabilidade. Além disso, o bom momento da economia brasileira também é responsável pelo aumento da demanda por sistemas voltados para a área de resíduos, setor que vem crescendo anualmente quase 5% e que movimenta mais de 19 bilhões de reais por ano (ABRELPE, 2011).

Outro fator que impulsionou o aparecimento de softwares de apoio à gestão de resíduos sólidos foi a criação da Lei nº 12.305 em 02 de agosto de 2010, instituindo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que representa um marco regulatório para o setor no Brasil. A PNRS (MMA, 2012) tem como princípios: a prevenção e a precaução; o poluidor-pagador e o protetor-recebedor; a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos; o desenvolvimento sustentável; a ecoeficiência; a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade; a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social; dentre outros.

Para estimular e estimular a disseminação dessas práticas e conceitos a política nacional de resíduos incentiva a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, em que se incluem as ferramentas computacionais.

## TENDÊNCIAS DE MERCADO

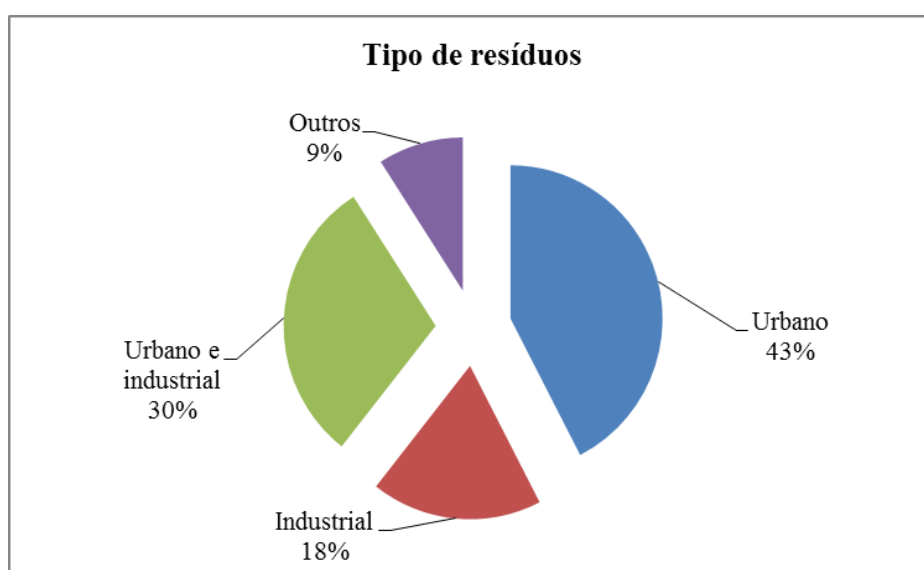
A Figura 1 apresenta um gráfico em que nota-se que a maioria (55%=40%+15%) dos softwares são destinados a servirem de ferramenta de apoio a decisão, ou seja, de apoio a definição de tecnologias e/ou técnicas a serem utilizadas no gerenciamento dos resíduos, seguidos pelos softwares de gerenciamento que apoiam o controle e acompanhamento do desempenho do sistema. Evidenciando assim o interesse pelo desenvolvimento de ferramentas que possam dar um suporte aos governantes e gestores quando da definição tecnológicas.



**Figura 1: Funções dos softwares avaliados.**

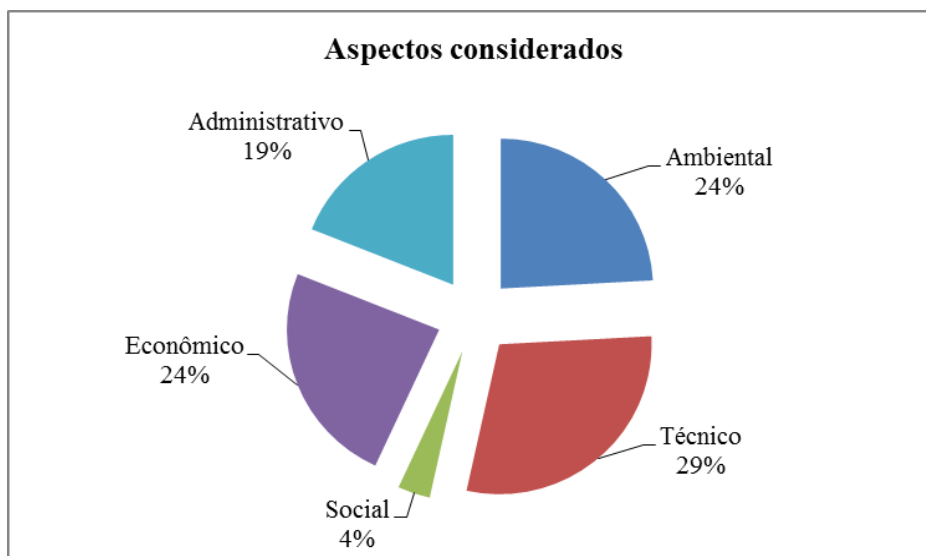
A Figura 2, por outro lado apresenta um gráfico com a distribuição das ferramentas catalogadas em função dos tipos de resíduos para os quais foram determinadas. Os resultados mostram que 43% dos softwares são dedicados exclusivamente aos Resíduos sólidos urbanos (RSU), 18% aos Resíduos sólidos industriais (RSI) e 30% a ambos. Sendo assim, nota-se uma predominância de modelos voltados para RSU apesar de os RSI também estarem bem servidos quanto a gama de ferramentas disponíveis.

Dentro da faixa de 9% correspondente a outros resíduos estão compreendidos resíduos específicos de serviço de saúde, eletroeletrônicos e biodegradáveis para os ferramentas customizadas são escassas sendo portanto um campo a ser desenvolvido tendo em vista as especificidades de cada uma destas linhas.



**Figura 2: Tipo de resíduos para os quais os softwares são direcionados.**

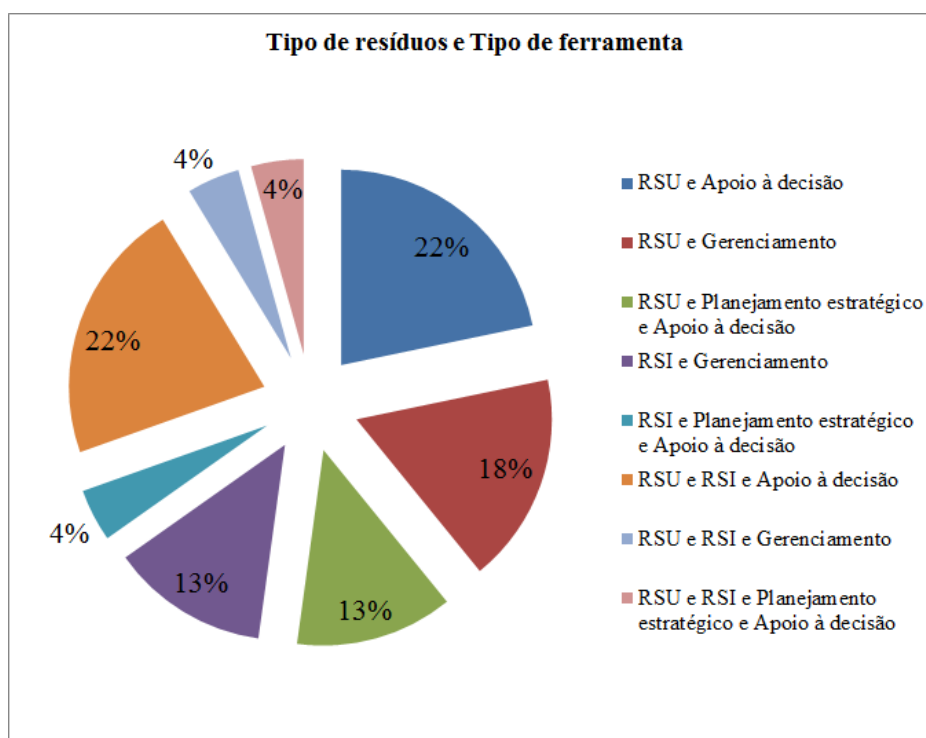
A Figura 3, por sua vez, segrega os softwares de acordo com os aspectos considerados em suas avaliações. Cerca de 30% dos softwares levam em consideração aspectos técnicos ligados a operação e desempenho dos sistemas e tecnologias empregadas. Um aspecto importante diz respeito a equiparação entre os modelos que consideram aspectos econômicos e ambientais sendo que ambos foram levados em conta em uma mesma parcela de ferramentas (24%) mostrando uma mudança de paradigma em que a visão tradicional de priorizar apenas aspectos econômicos vem caindo em desuso e as questões ambientais tem ganhado cada vez mais espaço nas análises de desempenho e nas tomadas de decisão. Em contrapartida apenas 4% dos softwares consideram aspectos sociais, o que mostra a carência de modelos que incorporam tais fatores, os quais são fundamentais para o desenvolvimento sustentável.



**Figura 3: Aspectos considerados nas análises realizadas pelos softwares avaliados.**

Já a Figura 4 mostra resultados em que se relaciona dois aspectos, o tipo de resíduo e o tipo de ferramenta. Conforme os comentários gerais para o tipo de ferramenta nota-se um padrão semelhante quando se analisam os modelos por tipo de resíduo havendo tanto para RSU quando para RSI uma predominância de softwares voltados para o apoio a tomada de decisão. Quanto ao planejamento estratégico, entretanto, notam-se que grande parte dos modelos são voltados sobretudo para os RSU.





**Figura 4: Distribuição percentual das ferramentas em função do tipo de resíduo e do tipo de ferramenta.**

Com o objetivo de alinhar os softwares aos princípios da sustentabilidade tem-se como tendência atual o surgimento de novos softwares que levam em consideração aspectos econômicos, sociais e ambientais e a inclusão destes dois últimos em modelos que foram baseados originalmente apenas em aspectos econômicos. Sendo assim, nota-se que grande parte das novas ferramentas incorporam análises de ciclo de vida (ACV) dos resíduos e tem buscado considerar não apenas aspectos técnico e econômicos, mas também impactos ambientais e sociais das atividades ligadas ao GRS, levando em conta a opinião pública e aceitação popular das tecnologias estudadas.

Outra tendência observada é a possibilidade de acesso remoto aos softwares. Várias ferramentas já podem ser acessadas diretamente pela internet sem a necessidade de instalação deste nos computadores. A disponibilização de banco de dados comuns na internet é um recurso que vem sendo cada vez mais explorado visto que permite reunir em uma mesma base de dados informações comuns facilitando a atualização destas. A utilização de bancos de dados via internet também reduz a necessidade dos usuários adquirir equipamentos para armazenamento de dados.

Nota-se ainda que os softwares apresentam-se cada vez mais flexíveis e adaptáveis à realidade local. De fato, a maioria das ferramentas disponíveis no mercado apresenta a possibilidade de alteração dos parâmetros originais do modelo para adaptá-lo as particularidades locais, tais como: características dos resíduos, legislação e tecnologias disponíveis. Essa flexibilidade dos modelos permite a realização de análises mais compatíveis à realidade local visto que, possibilita retratar melhor as características regionais do setor de resíduos.

## CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu sintetizar os principais softwares disponíveis para o setor de resíduos sólidos bem como suas apresentar suas funções e tendências de mercado. Notam-se um avanço gradual rumo a softwares que incorporem os conceitos de sustentabilidade e que sejam adaptáveis as realidades locais e que possam ser acessados remotamente.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado Minas Gerais - FAPEMIG por financiar a participação no Congresso.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, Brasil, 2011.
1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013. São Paulo, 2014.
2. COELHO, H. M. G. Modelo de Avaliação e Apoio ao Gerenciamento de Resíduos de Indústrias. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE/UFGM), Brasil. 300p. 2011.
3. FUNDAÇÃO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – FADE. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Pernambuco, 2013, 186p.
4. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos, Brasil, 2012, 104p.
5. WORLD BANK, What a Waste: a Global Review of Solid Waste Management, Washington DC, USA: World Bank, 2012, ch. 3, pp. 7-8.