



## VI-010 - COMPARAÇÃO DE EMISSÕES GASOSAS DERIVADAS DO GERENCIAMENTO DE LIXO DE DUAS CIDADES DO RS-BRASIL

**Diosnel Antonio Rodriguez Lopez<sup>(1)</sup>**

Engenheiro de Minas pela UFOP, M.Sc. pelo PPGEM da UFRGS, Dr.-Ing. pela TU-Berlin, Prof. Do Depto. De Engenharia e do PPGTA da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC.

**Sandra Cristina Schüller**

Bióloga pela UNISC, Mestre em Tecnologia Ambiental pelo PPGTA da UNISC.

**Emetério da Rosa Neto**

Biólogo pela UNIJUI, Mestre em Tecnologia Ambiental pelo PPGTA da UNISC.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Machado de Assis, 550 – Verena – Santa Cruz do Sul – RS – CEP 96820 – 160. Brasil - Tel: (51) 3717-3993 - e-mail: [dlopez@unisc.br](mailto:dlopez@unisc.br).

### RESUMO

A maioria dos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos dos municípios de pequeno porte (abaixo de 20000 habitantes) se baseia no tripé: coleta, transporte e disposição final. Municípios com mais recursos tendem atualmente a melhorar as operações de gerenciamento de lixo utilizando coletas diversificadas (coleta normal e seletiva), sistema de triagem de lixo, uso de processos de compostagem e campanhas educativas para a redução na fonte da geração. Ainda, a destinação final desses municípios maiores geralmente é realizada em aterros controlados ou sanitários. Dessa forma, o impacto ambiental desses sistemas de gerenciamento de lixo apresenta um menor impacto ambiental, se comparado com os dos municípios pequenos. Esse menor impacto ambiental está associado geralmente ao maior controle das emissões de gases no aterro. Dessa forma, as emissões de gases estufas dos lixões utilizados pelos municípios de menor porte podem se sobrepor ao de cidade de meio porte (acima de 100.000 habitantes). Dessa forma, simulações realizadas utilizando o software IWM - 2.5 com dados de duas cidades do RS mostraram que municípios pequenos podem ter um maior impacto ambiental em decorrência das formas de gerenciamento das emissões associadas às disposições finais dos seus resíduos sólidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Emissões atmosféricas. Inventário de Ciclo de Vida. Impacto Ambiental.

### INTRODUÇÃO

No Brasil, o gerenciamento do lixo depende bastante, entre outros, do tamanho do município e dos recursos destinados por estes para esta atividade. A maioria dos municípios brasileiros pode ser considerada de pequeno porte (menos de 20.000 habitantes) e gera uma quantidade de resíduos sólidos que, em princípio, não justifica grandes estruturas para o seu gerenciamento.

Muitos dos problemas do gerenciamento do lixo poderiam ser eliminados se os administradores municipais tivessem em mãos uma ferramenta técnica que os ajudasse na tomada de decisões nesta área, permitindo a simulação e comparação de cenários de gerenciamento de lixo. Esta ferramenta é a Análise de Ciclo de Vida ou ACV (MCDUGALL, 2001).

Segundo ÖZELER. & YETIS (2005), o ACV foi desenvolvido com intuito de considerar questões que não são considerados por outras ferramentas de gerenciamento ambiental e se mostrou particularmente útil como uma técnica para comparar duas ou mais alternativa, considerando seus impactos ambientais potenciais e sustentabilidade ecológica.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é simular e comparar as emissões de gases causadores do efeito estufa de aterros de resíduos urbanos de duas cidades do RS com tamanhos e sistemas de gerenciamento de resíduos diferentes por meio da ferramenta Inventário de Ciclo de Vida, utilizando o software ISW 2.5 baseado na ISO 14040. como coagulante primário (produto utilizado na maior parte das estações). Posteriormente, investigou-se o cloreto férrico como coagulante primário. Os polímeros naturais, como auxiliares de floculação, foram investigados em conjunto com os dois coagulantes. Na segunda etapa, baseando-se nos resultados obtidos na



primeira, foram aplicados na estação os coagulantes e auxiliares de floculação estudados, levando-se em conta os parâmetros físicos e químicos investigados em laboratório.

## MATERIAIS E MÉTODOS

As cidades escolhidas são Santa Cruz do Sul e São Luiz Gonzaga, ambas do Rio Grande do Sul. As mesmas foram escolhidas já que possuem tamanho populacional e formas de gerenciamento de lixo bem diferentes, principalmente na destinação final dos resíduos coletados.

O trabalho foi dividido em duas etapas principais. A primeira etapa foi desenvolvida por meio de coleta de dados perante as Prefeituras ou suas Secretarias responsáveis por estes serviços públicos. No caso de Santa Cruz do Sul, também foram obtidos dados com a empresa terceirizada responsável pelo gerenciamento dos resíduos, na Usina de Triagem de Lixo e na ASSCMAR - Associação dos Catadores de Material Reciclável.

Dentre os dados coletados nas duas prefeituras podem ser citados: quantidade de lixo gerada; composição física do lixo, sistema de coleta, frequência da coleta, tipo de caminhão utilizado na coleta, quilometragem média percorrida pelos caminhões, consumo de combustível dos caminhões, preços pagos pela secretaria por tonelada de lixo gerenciada, sazonalidade da quantidade e dos tipos de resíduos, quantidade de material reciclado, população beneficiada pela coleta e tipo de aterro. Os impactos produzidos pelas sacolas de supermercado, usadas como recipiente do lixo na etapa da coleta, não foram consideradas já que elas formam parte do lixo antes de sair das casas.

O sistema de coleta começa quando o lixo sai das casas. Para o caso de Santa Cruz do Sul o transporte do lixo foi considerado em dois estágios. O primeiro estágio considera a coleta e transporte do lixo coletado até a usina de triagem, enquanto que o segundo estágio modela o transporte desde a usina de triagem até o aterro sanitário. O modelo de coleção inclui a distância total das rotas de coleta. Não é feita nenhuma distinção entre coleta de fontes diferentes. O consumo de óleo diesel foi estipulado em função do tipo de caminhão utilizado no transporte dentro da cidade e na estrada.

O impacto relacionado à estação de triagem é principalmente devido à energia consumida pelos equipamentos de triagem e durante a compressão dos fardos. A quantidade de energia consumida pela usina de triagem, e utilizada neste trabalho, é de 5,9 kWh de energia elétrica por cada tonelada de lixo separado. Este valor difere bastante do valor utilizado pelo modelo, que corresponde a 30 KWh/tonelada.

Nas operações dos aterros foram considerados apenas os efeitos relacionados à decomposição do lixo e ao seu gerenciamento, como a geração de chorume e gás de aterro. Este trabalho não considerou o efeito do consumo energético durante as operações de disposição e condicionamento do lixo na disposição final. O gás de aterro é produzido apenas pela parte biodegradável do lixo. O modelo aqui utilizado considera uma geração de 250 m<sup>3</sup>N de biogás por tonelada de lixo orgânico biodegradável aterrado [16]. Para o aterro sanitário foi considerada a coleta e queima de 20% (vol./vol.) do gás de aterro gerado. Esta quantidade foi definida pelos operadores do aterro sanitário de Butia durante visita ao local.

A segunda etapa foi a transferência desses dados obtidos para o software IWM - 2.5, o qual simulou a situação atual dos sistemas de gerenciamento de resíduos dos municípios considerados. O modelo utilizado neste software analisa o processo desde o momento em que o material é considerado lixo e termina quando ele deixa de ser resíduo e se torna um material reaproveitado, um material residual aterrado ou uma emissão para a atmosfera ou para a água. O modelo é alimentado com informações sobre o lixo, energia (combustíveis e energia elétrica) e outras matérias primas utilizadas. Os dados, que este modelo entrega, são: quantidade de material separado, energia consumida e economizada, emissões atmosféricas e na água e quantidade de material aterrado [MCDOUGALL *et al.* 2001].

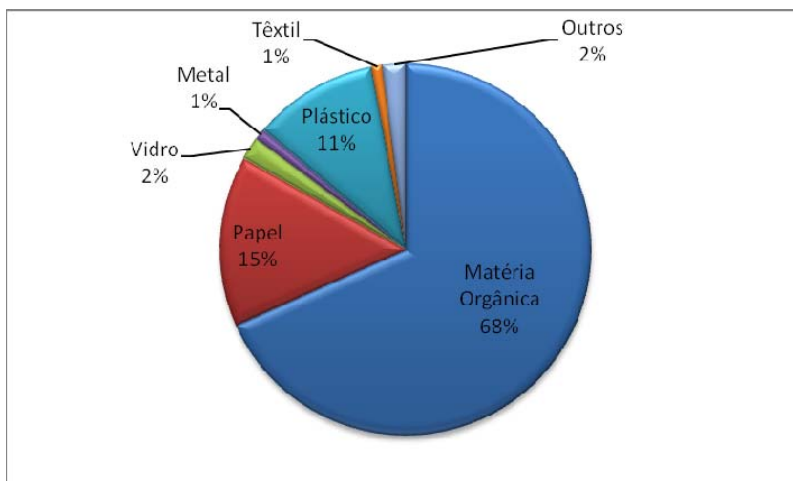
## RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

O Município de Santa Cruz do Sul tem uma população de 116.081 habitantes, dos quais 88% se concentram na área urbana (IBGE, 2000). Segundo o IBGE (2000), existem 33166 domicílios na cidade. A população gera diariamente entre 75 a 80 ton/dia de lixo, fazendo uma média mensal de 2250 toneladas (BETTAT, 2005). A coleta de lixo no Município é executada por uma empresa terceirizada, quem também gerencia a



Usina de Triagem de Materiais. Do total de lixo coletado 14% (w/w) são separados na usina de triagem e encaminhados para reciclagem em Porto Alegre, distante a 150 km.

A composição física do lixo gerado em Santa Cruz do Sul apresenta variações acentuadas de acordo com a sua origem. Nos bairros com maior poder aquisitivo, a quantidade e qualidade do mesmo é muito superior ao coletado nos bairros de baixa renda (RABUSKE, 2005). A sua composição média é apresentada na Figura 1.

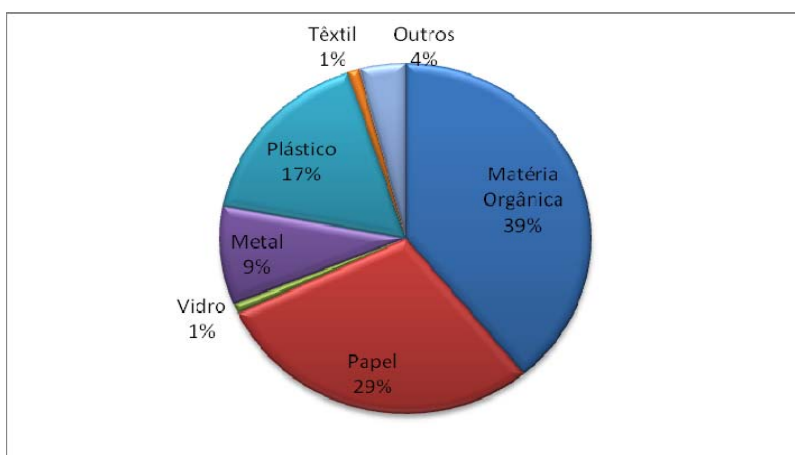


**Figura 1: Composição física dos resíduos sólidos urbanos de Santa Cruz do Sul – RS (LAWISCH, 2003).**

Os dados referentes ao sistema de gerenciamento de lixo de Santa Cruz do Sul mostraram que a coleta do lixo é realizada com cinco caminhões compactadores com capacidade de 15m<sup>3</sup> e 20m<sup>3</sup>. Embora estes caminhões tenham grande volume, a carga máxima recolhida por eles não passa de 8,5 toneladas. Esses caminhões percorrem 26.000 km mensalmente, consumindo 14.444 litros de óleo diesel para recolher a média de 2.250 toneladas de lixo por mês. Estes caminhões têm um rendimento médio de 1,8 Km/L de óleo diesel durante a coleta na cidade e de 2,5 km/l de óleo diesel no transporte até o aterro sanitário.

O município de São Luiz Gonzaga é um município de pequeno porte situado no noroeste do RS, na região denominada das Missões. O mesmo possui uma população 39.256 habitantes e que sofre com a migração de seus habitantes já que vem apresentando taxas de crescimento demográfico negativo. O município gera em torno de 14 – 15 toneladas de lixo por dia. O lixo é coletado por caminhões caçamba de 12m<sup>3</sup> com consumo de combustível de 2,3 Km/L durante a coleta. A Figura 2 apresenta a composição física do lixo de São Luiz Gonzaga.

A disposição final dos resíduos é realizada em um lixão, sem coleta do gás de aterro nem coleta e tratamento de chorume. Na coleta são utilizados dois caminhões tipo caçamba, que percorrem em média de 2100 km/mês, consumindo em torno de 900 litros/mês de óleo diesel, coletando 450 toneladas de lixo por mês. O Município não realiza a triagem do lixo coletado embora possua a estrutura e as máquinas para tal objetivo (DA ROSA NETO, 2007).



**Figura 2: Composição física dos resíduos sólidos urbanos de Santa Cruz do Sul – RS (DA ROSA NETO, 2007)**

## RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

A Tabela 1 apresenta os resultados das simulações realizadas com os dados do sistema de gerenciamento de lixo de Santa Cruz do Sul. Nestas simulações foram consideradas todas as etapas do sistema, incluindo os benefícios da reciclagem dos materiais separados. O valor GWP apresentado nesta tabela corresponde ao somatório do potencial de aquecimento global de todos os gases considerados convertidos em Kg equivalentes de CO<sub>2</sub>.

**Tabela 1: Emissões atmosféricas anuais do sistema de gerenciamento de resíduos de Santa Cruz do Sul.**

	UNIDA E	COLETA	TRIAGEM	ATERRO	RECICLAGEM	TOTAL
CO	Kg	1.648,925	64,648	3.524,138	-4.874,897	362,804
CO <sub>2</sub>	Kg	300.489,462	14.221,412	Zero	-4.045.517,503	-3.730.806,629
CH <sub>4</sub>	Kg	365,777	23,348	1.690.279,514	-1.865,083	1.688.803,555
NO <sub>x</sub>	Kg	5.407,136	217,038	8.666,765	-16.642,490	-2.351,551
GWP	Kg	308.173,026	14.716,856	35.495.873,340	-4.057.919,768	31.437.953,570

Com relação à coleta, os gases emitidos são na sua maioria derivados da queima de combustíveis por parte dos caminhões utilizados nesta etapa. Por sua vez, as emissões da triagem estão associadas ao consumo de energia elétrica, que por sua vez é obtida de uma matriz energética que inclui a queima de carvão mineral para a geração de energia elétrica.

As emissões derivadas do aterro são as mais significativas. Elas estão associadas à degradação anaeróbica dos compostos biodegradáveis do lixo aterrado e à queima desse gás de aterro. Ele é responsável pelas emissões de 67,28% do CO, 99,98% do CH<sub>4</sub> e 60,65% do NO<sub>x</sub>, sem considerar os benefícios da reciclagem.

Analisando a contribuição da reciclagem de materiais triados, pode-se observar que esta etapa possui uma contribuição significativa, uma vez que os valores negativos apresentados na Tabela 1 se traduzem em ganhos ambientais. Ou seja, a reciclagem está evitando o lançamento de uma grande quantidade de gases causadores do efeito estufa. Esses ganhos estão associados às diferenças de emissões entre a produção primária (derivada de matéria virgem) e a secundária (uso de material separado ou reciclado) na produção de um determinado bem. Dessa forma, a reciclagem evita o lançamento de ~4.000.000,00 Kg de CO<sub>2</sub>. Analisando o potencial de aquecimento global (GWP) do sistema, observa-se novamente que o aterro é responsável por 99,24% do total. A contribuição da reciclagem significa uma redução de 11,43%.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados das emissões do sistema de gerenciamento de lixo do município de São Luiz Gonzaga.

**Tabela 2: Emissões atmosféricas anuais do sistema de gerenciamento de lixo de São Luiz Gonzaga.**

	Unidades	Coleta	Lixão	Total
CO	Kg	178,718	11,776	190,494
CO <sub>2</sub>	Kg	32.568,480	Zero	Zero
CH <sub>4</sub>	Kg	39,645	370.090,767	370.130,412
NOx	Kg	586,051	Zero	586,051
GWP	Kg	33.401,261	7.771.906,116	7.772.682,662

Da análise dos valores apresentados na Tabela 1 pode se observar que o lixão é responsável pela maior parte das emissões. Ele emite 99,91% do CH<sub>4</sub> e por sua vez, é responsável por 99,9% do potencial de aquecimento global do sistema.

É importante notar que a maior parte do GWP dos dois sistemas depende em grande parte das emissões do gás metano, que é 21 vezes mais elevado que o do CO<sub>2</sub>.

O potencial de aquecimento global (GWP) do sistema de gerenciamento de lixo (incluindo todas as etapas do sistema) de São Luiz Gonzaga é de 1,41 toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> por tonelada de lixo coletado. Já o GWP do sistema de gerenciamento de lixo de Santa Cruz do Sul é de 1,14. A comparação destes valores mostra o sistema de gerenciamento de lixo de Santa Cruz do Sul é mais eficiente que o do sistema de São Luiz Gonzaga. Essa diferença se deve principalmente à contribuição da reciclagem no sistema de gerenciamento de resíduos e à queima de 20% do volume de gás metano gerado.

Quando toda a fração orgânica do lixo é aterrada, a mesma se converte em CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> dentro do aterro por causa dos processos biológicos que acontecem dentro dele. Devido às características de construção e outras condições intrínsecas apenas uma pequena porção do metano produzido pode ser coletado. Dessa forma uma quantidade significativa de gás de aterro é lançada no meio ambiente, contribuindo de forma clara com o aquecimento global e também com processos de acidificação na atmosfera (MENDES *et al.*, 2003). Logo, um sistema de gerenciamento de gases de aterro mais adequado é necessário de modo a que haja um controle mais acurado da emissão desse gás, o que pode ajudar a diminuir de forma significativa o GWP dos sistemas de gerenciamento de lixo.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A comparação detalhada das emissões atmosféricas derivadas do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos de duas cidades do RS com tamanhos e sistemas de gerenciamento diferentes foi realizada neste trabalho.

A análise dos resultados das diferentes etapas dos dois sistemas de gerenciamento de lixo considerada mostrou claramente que o sistema de aterramento é o maior causador de impactos, neste trabalho representado pelo GWP do sistema. Porém, a introdução de um processo de triagem e de reciclagem aporta ganhos ambientais significativos em decorrência do uso de material reaproveitado.

Levando em conta o GWP de um sistema de gerenciamento de lixo, o uso de sistema de gerenciamento de gases de aterro é importante para diminuir o impacto das emissões de gases causadores do efeito estufa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BETTAT, M. Inventário de Ciclo de Vida do Sistema de Gerenciamento de Resíduos de Santa Cruz do Sul. Santa Cruz do Sul. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Santa Cruz do Sul. 85 p. 2005
2. DA ROSA NETO, E. Uso do Inventário do Ciclo de Vida como ferramenta auxiliar na tomada de decisões no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em São Luiz Gonzaga - Rio Grande do Sul. Santa Cruz do Sul. Dissertação de Mestrado – Universidade de Santa Cruz do Sul. 110 p. 2007



3. ENSINAS, A. Estudo da Geração de Biogás no Aterro Sanitário Delta em Campinas – SP. Campinas,. Dissertação de Mestrado. Univ. Estadual de Campinas. 143 p. 2003.
4. IBGE. Instituto Brasileiro de Geoestatística, 2000.
5. ISO 14040:2000. Environmental Management—Life Cycle Assessment— Principles and Framework, 1997.
6. LAWISCH, A. Ações do Grupo de Pesquisa em Reciclagem de Plásticos da UNISC voltadas para o Desenvolvimento Regional Sustentável. TECNO-LÓGICA. v. 7, n. 2, p.135-143, 2003.
7. MCDUGALL, F. R. Life Cycle Inventory Tools: Supporting the Development of Sustainable Solid Waste Management Systems. CORPORATE ENVIRONMENTAL STRATEGY, v. 8, n. 2, p. 23-35, 2001.
8. MCDUGALL, F.; WHITE, P.; FRANKE, M.; HINDLE, P. Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory. London. 2nd Ed., Blackell Science Ltd., 2001.
9. MENDES, M.R.; ARAMAKI, T.; HANAKI, K. Assessment of the environmental impact of management measures for the biodegradable fraction of municipal solid waste in São Paulo City. WASTE MANAGEMENT. v. 23, p. 403–409, 2003.
10. ÖZELER. D.; YETIS., D.G.N. Life cycle assessment of municipal solid waste management methods: Ankara case study. ENVIRONMENT INTERNATIONAL. v. 12, n.18, p. 345-354, 2005.
11. RABUSKE, M. Análise da Eficiência da Usina de Triagem de Lixo de Santa Cruz do Sul – RS, Santa Cruz do Sul. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade de Santa Cruz do Sul. 78 p. 2005