

**CALCULIXO – RECICLANDO CONCEITOS DE CÁLCULO NUMÉRICO  
(CALCULIXO – Recycling Concepts of Numerical Calculus)**

**Guilherme Galina Loch** [guiloch@hotmail.com]

**Luciane Wiest** [lucianewiest@yahoo.com.br]

**Alice Kozakevicius** [alice.kozakevicius@gmail.com]

Universidade Federal de Santa Maria

Centro de Ciências Naturais e Exatas – Departamento de Matemática

Avenida Roraima, 1000

Cidade Universitária, prédio 13, CEP 97105-900, Bairro Camobi, Santa Maria, RS

**Resumo**

A questão da produção de lixo doméstico serve como plano de fundo para a abordagem de tópicos relacionados à disciplina de cálculo numérico. Neste trabalho, são descritos experimentos didáticos realizados em sala de aula ao longo de um semestre, no sentido de criar uma contextualização para os conteúdos da disciplina. Dessa forma, as questões práticas apresentadas sob o ponto de vista da temática da produção de lixo local foram tratadas através de ferramentas desenvolvidas com os métodos numéricos ensinados ao longo do semestre. Com os dados coletados foram produzidas estimativas e analisada sua coerência em relação a dados realistas disponíveis em fontes governamentais e fornecidas pela mídia local.

**Palavras-chave:** cálculo numérico; Educação Ambiental; obtenção de estimativas; produção de lixo doméstico.

**Abstract**

The issue of local production of garbage serves as background for approaching topics related to the discipline of numerical calculus. In this work didactic experiments were carried out during one semester with a group of students, attempting to create a context for each one of the subjects developed in the discipline. Therefore, practical issues presented with the perspective of the local production of garbage were treated with numerical tools developed with the numerical methods taught throughout the semester. With the collected data estimates were produced and its accuracy and coherence analyzed comparing with realistic information available at governmental sources and given by the local media.

**Keywords:** numerical calculus; environmental education; estimates obtention; production of domestic garbage.

**Introdução**

O problema da produção de lixo em nossa cidade, apesar de ter recebido recentemente atenção dos meios de comunicação locais, como no artigo de Dutra (2009), do Jornal Diário de Santa Maria, RS, ainda está longe de ser tratado de forma consciente pela população como um todo e de ter uma ampla política de manejo, preocupada com questões relacionadas ao impacto ambiental e à contaminação de rios, córregos e subsolo de modo geral.

Esta afirmação é baseada simplesmente na observação dos aterros sanitários a céu aberto, que são, ainda hoje na maioria das cidades, o destino final dado ao lixo produzido diariamente. Na cidade de Santa Maria, RS, o local reservado para o “tratamento do lixo” é a Central de Tratamento de Resíduos da Caturrita (CTRC), situada no Distrito de Santo Antão, zona rural de Santa Maria, junto à estrada vicinal para Boca do Monte, distante cerca de 8,7 km do centro da cidade. Segundo dados oficiais da prefeitura municipal, a CTRC recebe diariamente cerca de 300 toneladas de

resíduo sólido urbano, atendendo à população do município e da sua macrorregião, sendo a quantidade relativa à produção de lixo em Santa Maria aproximadamente 170 toneladas diárias.

Uma informação alarmante fornecida pela Empresa Revita Engenharia Sociedade Anônima, atual responsável pela manutenção da central de tratamento de resíduos, é de que este aterro foi recentemente inaugurado, visto que o anterior (Aterro Controlado da Caturrita), não atendia adequadamente às exigências ambientais, podendo causar a contaminação da região ao seu redor e das pessoas que ali circulam. No entanto, essa informação, por mais alarmante que seja, não teve repercussão condizente com sua gravidade na imprensa local, junto aos grupos ambientalistas da região, junto à comunidade acadêmica, ou a qualquer outro setor da comunidade santa-mariense (pelo menos, até o momento os autores desconhecem referências sobre estas manifestações). E mesmo que houvesse manifestações contrárias à criação de um novo aterro sanitário, qual seria a solução alternativa para o tratamento do lixo, no volume com que é produzido diariamente?

Estas duas questões fundamentais envolvendo a problemática do lixo em nossa comunidade, a falta de consciência e a falta de alternativas, são os focos motivadores deste trabalho.

Na verdade, pode-se afirmar que a falta de alternativas para muitos problemas é consequência imediata da falta de consciência, da falta de conhecimento e da falta de reflexão sobre a questão. Assim, o primeiro passo a ser dado é encontrar uma maneira de fazer com que as pessoas tenham consciência da quantidade de lixo que produzem por dia, por semana, por ano. Depois disso, terem a curiosidade e a preocupação de saber para onde estes dejetos são levados e como são processados e tratados. E, se não forem tratados, quais os riscos existentes para a saúde e para o meio ambiente. A partir dessas conscientização e preocupação iniciais, transformadas em inquietação, acredita-se que o processo de se repensar e buscar alternativas seja uma evolução natural e uma consequência.

O elemento motivador está lançado, e neste sentido não se está sozinho. Esta e várias outras questões ambientais já serviram (e ainda servem) de motivação para ações de grupos ambientalistas, como o famoso Greenpeace, documentários a respeito do lixo formado no meio do Oceano Pacífico, como o apresentado pelo programa televisivo Fantástico (2009), filmes de curta-metragem, como o de Furtado (1989), e naturalmente, inúmeros artigos científicos direcionados para educação, como o de Leite, Ferreira e Scrich (2009), ou não, onde é possível citar Salati, Santos e Klabin (2006), Siqueira e Moraes (2009) e Carvalho et al. (2010).

Aliada a esta motivação inicial e baseada na ideia de que “o fenômeno modelado deve servir de pano de fundo ou motivação para o aprendizado das técnicas da própria matemática” (Bassanezi, 2006, p. 38) e, além disso, de que “as discussões sobre o tema escolhido favorecem a preparação do estudante como elemento participativo da sociedade em que vive” (Bassanezi, 2006, p. 38), a ferramenta de trabalho que se quer explorar neste processo de conscientização e que se deseja propor aqui é a disciplina de Cálculo Numérico, normalmente ministrada dentro do currículo dos cursos de licenciatura e bacharelado em Matemática (e demais cursos da área de Ciências Exatas). Talvez um fórum não muito explorado para este tema, no entanto, um fórum extremamente legítimo e promissor do ponto de vista a fornecer subsídios de raciocínio, modelagem, análise e compreensão deste e de muitos outros problemas.

Neste sentido, apresenta-se uma proposta de metodologia de ensino para a disciplina de Cálculo Numérico contextualizada na temática de produção de lixo doméstico, implementada durante o primeiro semestre de 2009 com alunos do curso de Licenciatura Plena em Matemática da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, com base na bibliografia de Ruggiero e Lopes (1996).

O trabalho está organizado por seções que descrevem todas as etapas desenvolvidas e exploradas ao longo da disciplina. Na seção 2, são descritas as experiências dos alunos com relação

à apresentação inicial da proposta, à organização e padronização dos dados coletados e às respectivas tabelas. Na seção 3 são apresentadas as questões discutidas em sala de aula e em pequenos grupos, cujas resoluções envolvem os tópicos da disciplina. Além disso, na seção 4 são apresentadas as discussões finais e conclusões obtidas pelos alunos no final do semestre.

### Apresentação da Proposta e Levantamento de Dados

O estímulo inicial para a proposta de contextualização da disciplina, apresentado no primeiro dia de aula para a turma, foi a exibição do filme curta-metragem “Ilha das Flores”, de Furtado (1989). Tendo o filme como subsídio inicial, foi lançada a discussão sobre a quantidade de lixo gerada pelos alunos da turma em suas residências, na comunidade acadêmica e na cidade. Com isso, a turma foi separada em pequenos grupos e nas semanas iniciais foram realizadas pesquisas a respeito da produção de lixo e seu destino na cidade de Santa Maria, assim como uma constante verificação na mídia local sobre matérias e reportagens envolvendo a questão do lixo e questões ambientais em geral.

#### *Coleta de dados sobre lixo doméstico*

Cada aluno recebeu então, a tarefa de coletar em sua própria residência dados sobre sua produção diária de lixo, tanto seco quanto orgânico. A coleta dos dados foi realizada durante quatro semanas e o período de coleta aconteceu entre os meses de março e abril de 2009, sendo que a primeira coleta ocorreu em 20/03/2009.

Mesmo tendo sido utilizado o quilograma como unidade padrão para a pesagem do lixo, já neste processo inicial pôde-se explorar com riqueza questões como erro nas informações iniciais, erro nas medidas realizadas e erro nas estimativas feitas ao se aproximar as informações, gerando, portanto, exemplos práticos para os conceitos envolvidos nas definições de *erro de arredondamento* e *erro de truncamento*. Ainda pôde-se levantar a questão da representatividade dos dados amostrados, relacionando número de amostras ao número total de elementos a serem analisados.

Os dados coletados foram organizados em tabelas. Inicialmente para cada aluno, depois por grupo e finalmente para a turma inteira. Abaixo, na Tabela 1, são apresentados os valores para a produção de lixo por coleta e o total acumulado nas residências dos alunos participantes da pesquisa durante este período.

**Tabela 1** – Produção de lixo em kg, período de quatro semanas: estimativa por coleta e valor acumulado.

Dia da Semana	Coleta Número	Total do Dia	Total Acumulado
Sexta-feira	01	19,341	19,341
Segunda-feira	02	30,242	49,583
Quarta-feira	03	19,720	69,303
Sexta-feira	04	20,041	89,344
Segunda-feira	05	25,139	114,483
Quarta-feira	06	20,378	134,861
Sexta-feira	07	18,513	153,374
Segunda-feira	08	26,615	179,989
Quarta-feira	09	18,653	198,662
Sexta-feira	10	20,791	219,453
Segunda-feira	11	23,770	243,223
Quarta-feira	12	17,450	260,673

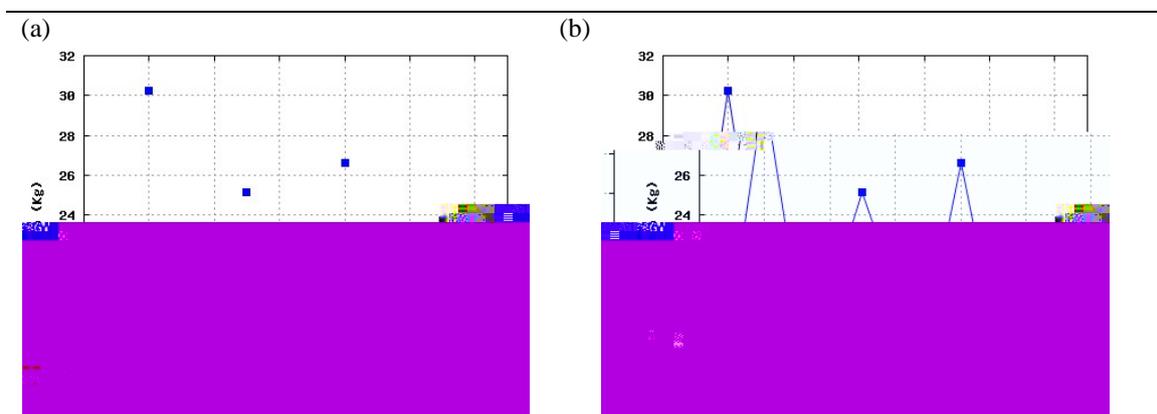
Fonte: Acadêmicos da disciplina de Cálculo Numérico – 2009/1 da Universidade Federal de Santa Maria, RS.

No período de quatro semanas, a produção estimada foi de 260,673 kg de lixo em uma turma de quinze alunos que juntamente com seus companheiros de residência contabilizaram um total de trinta e seis pessoas.

### Conceitos de Cálculo Numérico

Após a coleta de dados e a discussão sobre o erro embutido nas medidas e aproximações feitas para o lixo coletado, na etapa seguinte foram abordadas as questões relativas à escolha de software ou aplicativo para visualização dos dados e diferentes maneiras de organização destes dados em tabelas. O aplicativo gratuito GNUPLOT foi escolhido por ser de livre acesso e de fácil utilização.

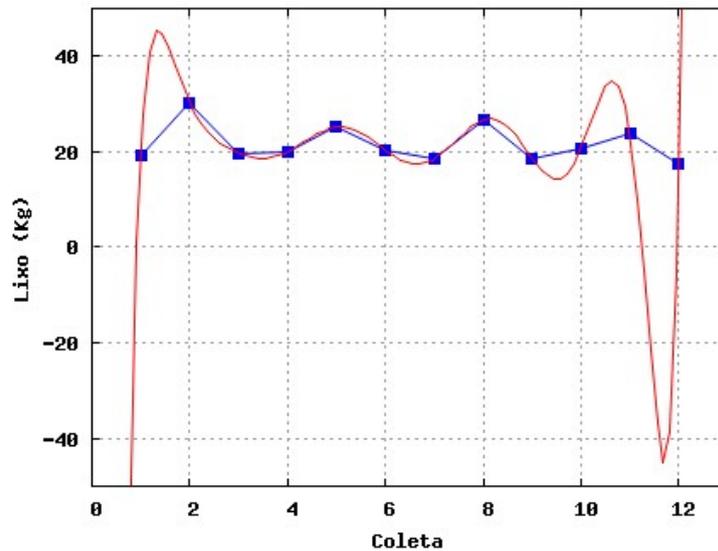
A noção de *interpolação local* é facilmente e naturalmente introduzida no momento em que são traçados os gráficos dos valores das tabelas obtidas, uma vez que o próprio aplicativo GNUPLOT tem como modo padrão de apresentação de dados discretos as opções com ou sem linhas unindo os pontos. Na Figura 1 são apresentados os gráficos que esboçam o diagrama de dispersão referente às colunas 2 e 3 da Tabela 1 (Figura 1(a)) e a interpolação linear local desses pontos (Figura 1(b)).



**Figura 1** – (a) Diagrama de dispersão do lixo estimado nos dias de coleta; (b) Interpolação linear local dos pontos da Figura 1(a).

Observando-se o gráfico da Figura 1(b), várias perguntas sobre interpolação podem ser formuladas: Existiria alguma outra função, além dos segmentos de reta, que poderia ser utilizada para unir os pontos da tabela? Esta função seria única? Ao unirmos estes pontos através de uma curva qualquer, que informações adicionais ganhamos com relação aos dados discretos? Enfim, perguntas que em uma primeira análise apenas têm sentido com relação ao processo de construção de um interpolador. No entanto, através da interpretação dos dados, essas perguntas sobre interpolação podem ser traduzidas para o contexto específico da produção de lixo. Além disso, a noção de interpolação inversa torna-se mais natural quando, por exemplo, a pergunta formulada é a seguinte: para quais dias de coleta a produção de lixo poderia ser estimada em 23 kg?

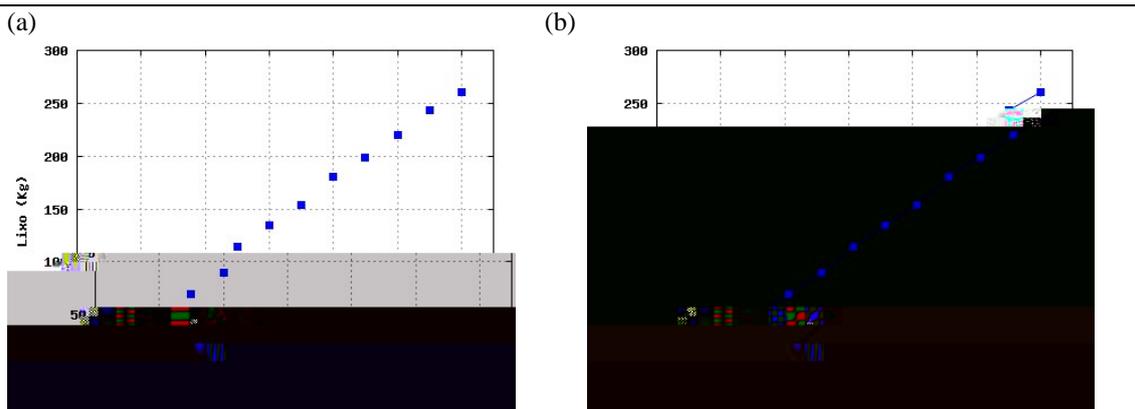
A construção do *interpolador de Lagrange* a partir dos dados coletados é apresentada na Figura 2. Aqui, com o recurso de se traçar o gráfico do polinômio interpolador para todos os pontos do intervalo que contém os valores associados aos dados coletados, é permitida uma melhor compreensão e fixação do que significa ser interpolador e do que significa produzir aproximações para os valores que não estão tabelados. Outra propriedade que se pode explorar é o fato do polinômio apresentar oscilações conforme o aumento do seu grau.



**Figura 2** – Interpolação de Lagrange para os pontos da Figura 1(a).

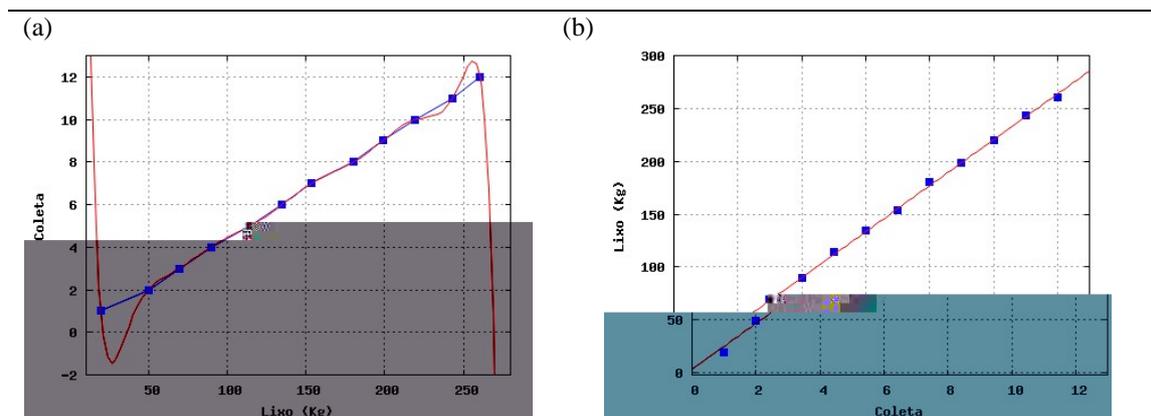
Através dos dados apresentados na Figura 2 pode-se observar que, nas segundas-feiras, coletas 02, 05, 08 e 11, a produção de lixo nas residências tem picos. Uma explicação plausível para este fato seria a maior concentração de pessoas nas residências durante o final de semana, causando uma maior produção de lixo.

Usando os dados das colunas 2 e 4 da Tabela 1, foram traçados o diagrama de dispersão do total acumulado de lixo nas residências dos estudantes (Figura 3(a)) e o gráfico do interpolador linear por partes desses pontos (Figura 3(b)).



**Figura 3** – (a) Diagrama de dispersão do lixo acumulado; (b) Interpolação linear local dos pontos da Figura 3(a).

Para se estimar em quanto tempo seria produzida certa quantidade de lixo, os valores acumulados foram então interpolados através do método da interpolação inversa. Para tal, foram invertidas as colunas 2 e 4 da Tabela 1. Assim, dessa vez, os dias de coleta estavam em função do lixo acumulado. Novamente foi traçado o gráfico correspondente (Figura 4(a)).



**Figura 4** – (a) Interpolação inversa do lixo acumulado; (b) Método dos Mínimos Quadrados Linear para o lixo acumulado.

De acordo com as estratégias consideradas na pesagem e aproximação das quantidades de lixo produzido e, portanto, através dos dados coletados, o diagrama de dispersão do lixo acumulado (Figura 3(a)) mostra que o crescimento da quantidade de lixo acumulado é praticamente linear. Assim, neste momento pôde-se iniciar uma discussão sobre as tendências que os gráficos apresentam e, seguindo estas tendências, quais seriam os valores associados a coletas futuras. Desta forma, a questão de extrapolação foi motivada. Observando-se a Figura 4(a) e o comportamento do polinômio interpolador nas vizinhanças dos valores das fronteiras, fica evidente que o polinômio interpolador não é um bom candidato a polinômio extrapolador.

Então, a questão de se construir uma função que melhor se *ajuste* à tendência apresentada pelo diagrama de dispersão torna-se extremamente natural e pertinente. Na Figura 4(b) apresenta-se o resultado obtido para o ajuste linear do lixo acumulado, através do *Método dos Mínimos Quadrados*. Sendo a função de ajuste denotada por  $h_1(x) = ax + b$ , os valores encontrados para os parâmetros foram  $a = 3,21917$  e  $b = 21,7136$ .

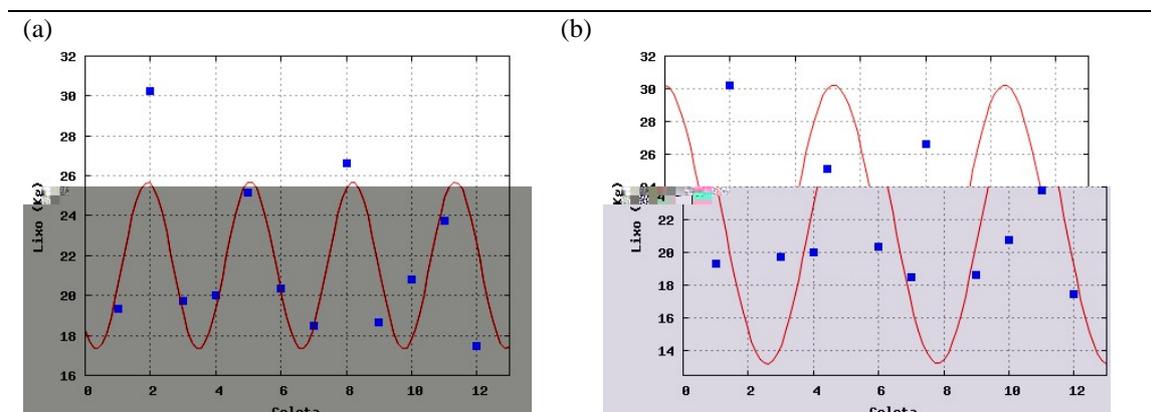
Esta mesma função de ajuste pode ser considerada como função de extrapolação, permitindo que projeções sobre futuras produções de lixo possam ser feitas. Além disso, estimativas para a quantidade de lixo produzida tanto nas residências como na cidade de Santa Maria em um determinado período podem ser obtidas.

Como nas casas observadas foram contabilizadas trinta e seis pessoas no total, cuja produção média foi de 260,673 kg de lixo por mês, através de uma regra de três simples, estima-se que a quantidade de lixo produzido nas residências de Santa Maria seja aproximadamente 2.172,275 toneladas ao mês, assumindo que a cidade tenha em torno de 300.000 habitantes.

Segundo a Prefeitura Municipal, dados coletados em 2009, o total de lixo produzido na cidade é de cerca de 5.000 toneladas ao mês, mais do que o dobro do estimado através da amostragem realizada neste trabalho. No entanto, pode-se considerar a estimativa de 2.172,275 toneladas obtida em sala de aula como sendo coerente, uma vez que apenas lixo residencial foi incluído na modelagem, sendo desconsiderados os resíduos de estabelecimentos comerciais, do setor industrial da cidade, dos hospitais, etc.

A título de investigação e especulação, os dados apresentados na Figura 1(a) foram ajustados através de uma função trigonométrica,  $h_2(x) = a + b(\cos(2x - 0,69))$ . O resultado deste ajuste apresenta-se na Figura 5(a). Aqui, o objetivo é motivar a possibilidade de ajustes realizados através do *Método dos Mínimos Quadrados Não Linear*, uma vez que a determinação dos valores 2 e 0,69 foi feita, num primeiro momento, através de tentativa e erro para que a forma trigonométrica se assemelhasse e se aproximasse dos pontos do gráfico. Os parâmetros  $a$  e  $b$  encontrados via Método dos Mínimos Quadrados foram  $a = 21,5061$  e  $b = -4,18277$  para o caso linear.

Para o caso não linear, a função de ajuste denotada por  $h_3(x) = a + b(\cos(cx+d))$  apresentou como resultado para os parâmetros  $a = 21,721$ ,  $b = 8,521$ ,  $c = 1,2$  e  $d = 0,05$ . O resultado deste ajuste apresenta-se na Figura 5(b).



**Figura 5** – (a) Método dos Mínimos Quadrados Linear através de uma função trigonométrica para o lixo estimado nos dias de coleta; (b) Método dos Mínimos Quadrados Não Linear através de uma função trigonométrica para o lixo estimado nos dias de coleta.

Para que os valores dos parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  da função de ajuste  $h_3(x)$  fossem encontrados foi necessário fazer a linearização do problema através dos passos descritos abaixo e apresentados na Tabela 2.

1. Transladar os pontos do diagrama de dispersão da Figura 1(a) para próximo do eixo das abscissas subtraindo da quantidade de lixo produzida em cada coleta (coluna 2 da Tabela 2) o valor de 21,721. Esse valor é encontrado através do cálculo da média aritmética do lixo produzido em cada uma das 12 coletas;
2. Reduzir o intervalo da amostragem para  $[-1;1]$ , dividindo os resultados encontrados na coluna 3 da Tabela 2 por 8,521, que é o valor máximo da própria coluna;
3. Aplicar a função inversa da função cosseno nos valores da coluna 4 da Tabela 2;
4. Ajustar os pontos da coluna 5 da Tabela 2 através do Método dos Mínimos Quadrados para a função  $cx + d$ .

Na verdade, como a função  $h_3(x)$  não satisfaz os casos não lineares apresentados na bibliografia de Ruggiero e Lopes (1996) e usualmente apresentados nos demais livros de cálculo numérico, o processo de linearização apresentado envolve mais passos intermediários e, de certa forma, artesanais.

A partir deste experimento, de ajustar os dados através de funções trigonométricas, a possibilidade de se perceber sazonalidade nos dados também pôde ser explorada, uma vez que a cidade de Santa Maria possui uma população considerável de estudantes que deixa a cidade no período de férias, causando seguramente um impacto na produção local de dejetos.

Através da utilização de ferramentas tecnológicas tão em destaque atualmente, foi utilizado o programa computacional Google Earth para a visualização da Central de Tratamento de Resíduos da Caturrita (CTRC), aterro no qual o lixo produzido na cidade de Santa Maria é depositado diariamente, conforme mostra a Figura 6.

**Tabela 2** – Linearização da função  $h_3(x) = a + b(\cos(cx+d))$  para o Método dos Mínimos Quadrados Não Linear.

Coleta (x)	Lixo (y)	$y - 21,721$	$\frac{y - 21,721}{8,521}$	$\arccos\left[\frac{y - 21,721}{8,521}\right]$
01	19,341	-2,380	-0,279	1,853
02	30,242	8,521	1,000	0,000
03	19,720	-2,001	-0,235	1,808
04	20,041	-1,680	-0,197	1,769
05	25,139	3,418	0,401	1,158
06	20,378	-1,343	-0,158	1,729
07	18,513	-3,208	-0,376	1,956
08	26,615	4,894	0,574	0,959
09	18,653	-3,068	-0,360	1,939
10	20,791	-0,930	-0,109	1,680
11	23,770	2,049	0,240	1,328
12	17,450	-4,271	-0,501	2,095

Fonte: Acadêmicos da disciplina de Cálculo Numérico – 2009/1 da Universidade Federal de Santa Maria, RS.



**Figura 6** – Vista superior da Central de Tratamento de Resíduos da Caturrita (CTRC), Santa Maria, RS, Brasil.

Segundo informações fornecidas pela empresa Revita Engenharia Sustentável Sociedade Anônima, atual responsável pela manutenção do aterro, a operação do aterro sanitário prevê a cobertura diária do lixo compactado, assim que se encerra o processo de coleta da cidade e da sua macrorregião.

Através da construção de um polígono circunscrito à área da imagem que corresponde ao lixo coletado em um dia (área ainda não aterrada), o que é possível ser feito por meio das ferramentas do próprio Google Earth (Figura 7), foi obtida uma aproximação da área ocupada por este lixo. Esta área tem cerca de 2.192 metros quadrados (2.192 m<sup>2</sup>).



**Figura 7** – Vista superior do polígono que aproxima a área da Central de Tratamento de Resíduos da Caturrita ocupada ao final de um dia de coleta de lixo, Santa Maria, RS, Brasil.

O volume  $V$  de uma pirâmide, dado através da área de sua base  $A$  e da sua altura  $h$ , é dado por:

$$V = \frac{1}{3} \cdot A \cdot h, \quad (1)$$

sendo assim, recorreremos novamente às opções disponíveis no programa computacional utilizado para a visualização do aterro para sabermos a que altura dos lados da base está o topo desta pirâmide de lixo. Utilizando a opção “Mostrar perfil de elevação” foi possível verificar que a altura da pirâmide é de aproximadamente 0,55 metros (0,55 m). Substituindo essas informações na equação (1) obtém-se um volume aproximado de 401,87 metros cúbicos (401,87 m<sup>3</sup>).

Segundo Gomes, Conceição e Fleck (1997), a densidade do lixo compactado varia de 700 a 900 kg/m<sup>3</sup>. Assim, assumindo uma densidade média de 800 kg/m<sup>3</sup>, pode-se estimar, através de uma regra de três, que a quantidade de lixo depositada diariamente no aterro é de aproximadamente 321 toneladas, valor que apresenta coerência com as 300 toneladas informadas pela Prefeitura Municipal.

Segundo Bacelar (2005), o lixo é habitado por seres microvetores de doenças, como as bactérias, que causam ameaças à saúde pública. Conforme Ferreira (1999), estima-se que um grama de lixo domiciliar contenha cerca de  $1,5 \times 10^9$  unidades formadoras de colônias (UFC) destes microrganismos. Apenas com esses dados já é possível intuir que a escala de produção dessas bactérias é astronômica.

Conforme a estimativa obtida anteriormente, assume-se que existam cerca de 321.493,333 quilogramas de lixo coletados no final de um dia e depositados na Central de Tratamento de Resíduos da Caturrita, o que corresponde a 321.493.333 gramas. Assim, a quantidade inicial estimada para o número de bactérias e actinomicetos no lixo desta coleta é de aproximadamente  $482.239.999 \times 10^9$  UFC.

Em aplicações à engenharia, é comum trabalhar-se com problemas adimensionalizados, ou seja, um problema cujas unidades de medida foram modificadas para não mais interferirem nos parâmetros das equações. A unidade utilizada na formulação do problema de contagem de bactérias será, portanto,  $10^{15}$  UFC. Sendo assim, a quantidade inicial estimada de bactérias será de  $482,23 \times 10^{15}$  UFC na nova formulação.

Supondo que a taxa de proliferação por hora destes microrganismos seja proporcional ao número presente a cada instante e assumindo esta taxa como sendo 0,11, através da solução de um problema de valor inicial associado a uma equação diferencial ordinária é possível verificar a quantidade existente de bactérias no fim da primeira hora. Portanto, o problema de valor inicial correspondente é dado pela equação (2), cuja solução exata é da forma  $y(x) = (482,23)e^{0,11x}$ .

$$(2) \quad \begin{cases} y' = 0,11y \\ y(0) = 482,23 \end{cases}$$

Para se utilizar o *Método de Euler* para resolução de Equações Diferenciais Ordinárias com um erro menor que  $10^{-1}$  (valor relativamente pequeno comparado à quantidade inicial de microrganismos, que tem escala de  $10^{15}$ ), é necessário que se determine o valor do passo simples  $h$  utilizado no método:

$$|E(x)| \leq \max_{x \in [0,1]} |y''(x)| \frac{h^2}{2!} \leq 10^{-1} \Rightarrow h \leq 0,1752 \quad (3)$$

Tomemos pois, o maior espaçamento  $h$ , de forma a trabalhar com pontos igualmente espaçados, ou seja,  $h = 0,125$ , pois o que se quer é  $y(x)$  para  $x = 1$ . Sendo assim, é necessário que sejam realizadas 8 iterações do método para que se obtenha o resultado apresentado na Tabela 3:

**Tabela 3** – Método de Euler para resolução do problema proposto com unidade de  $10^{15}$  UFC.

Iteração	x	y
0	0,000	482,230
1	0,125	488,861
2	0,250	495,582
3	0,375	502,396
4	0,500	509,304
5	0,625	516,307
6	0,750	523,406
7	0,875	530,603
8	1,000	537,899

**Fonte:** Dados coletados pelos acadêmicos da disciplina de Cálculo Numérico – 2009/1 da Universidade Federal de Santa Maria, RS, aplicados no programa computacional Visual Cálculo Numérico (VCN) versão 5.1.

Substituindo  $x = 1$  na solução exata do problema, obtém-se o valor 538,169. Observe que o erro entre a solução exata e a solução encontrada através do Método de Euler é de aproximadamente 0,27. O valor encontrado para o erro é maior que o proposto inicialmente, mas é considerado satisfatório visto que a quantidade inicial de microrganismos é bastante significativa e que os cálculos são feitos através de aproximações de primeira ordem.

Como foi estimado pelo modelo simplificado formulado anteriormente, a quantidade de lixo produzida diariamente em Santa Maria e sua macrorregião é suficiente para que um número exorbitante de bactérias e actinomicetos prejudiciais à saúde humana se reproduzam em poucos minutos.

## Considerações Finais

Neste trabalho, vários tópicos da disciplina de cálculo numérico são explorados através de um contexto bastante rico e relevante para a comunidade: a produção de lixo doméstico. Na

verdade, o que se propõe é a utilização desta disciplina como fórum de discussão e conscientização dos alunos participantes do projeto (e conseqüentemente, seus familiares) sobre a produção exagerada de lixo em suas residências.

Nesta primeira edição da disciplina, em cada etapa os alunos foram estimulados a pensarem nas perguntas sobre produção e destino do lixo que poderiam ser respondidas através dos métodos numéricos estudados. Em cada aula, pequenas discussões sobre o tema foram estimuladas até que os próprios alunos se sentissem à vontade para trazerem seus próprios questionamentos e contribuições relacionados a questões de meio ambiente e cidadania.

No final do semestre, os grupos apresentaram seus trabalhos, contendo basicamente os exemplos apresentados aqui. Além disso, no momento das apresentações orais, cada grupo fez um relato de suas impressões sobre o projeto. Foi surpreendente como a pesquisa causou impacto também entre os familiares e/ou companheiros de moradia, uma vez que o processo diário de coleta de dados realizado durante um mês inteiro atingiu esses participantes indiretos.

Um dos comentários marcantes, além de inesperado, foi o de uma aluna que relatou que a coleta de dados havia contribuído tanto para que toda sua família refletisse sobre a quantidade exagerada de lixo produzida semanalmente, quanto para perceberem vários hábitos errados de sua alimentação, como o consumo exagerado de refrigerantes e alimentos enlatados. Essa conscientização foi fruto direto da contagem diária e da triagem feita para estimação do lixo seco e do lixo orgânico.

O projeto está apenas no início, várias outras etapas podem ser incorporadas, pois as perguntas formuladas e exploradas ao longo de todo o semestre tiveram um caráter de tomada de informações, coleta de dados, e tomada de consciência das estimativas produzidas e verificação de sua coerência com dados realistas.

A partir do momento que os exemplos formulados para cada conteúdo da disciplina tiverem um apelo temático e contextualizado, pode-se passar então para a exploração de uma segunda etapa, a de busca de alternativas para o tratamento do lixo. Mesmo que esta etapa seja muito mais elaborada e talvez necessite de apoio de profissionais de outras áreas, segue sendo mais uma vez um excelente tópico motivador para integração e interdisciplinaridade.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem aos alunos da Disciplina de Cálculo numérico do primeiro semestre de 2009 do curso de Licenciatura em Matemática da UFSM que participaram do projeto.

Além disso, os autores agradecem ao Prof. Rodney Bassanezi, que apoiou o desenvolvimento deste projeto e incentivou ainda sua extensão de maneira a englobar profissionais dos cursos de química e engenharia, tanto na formulação de novos exemplos quanto na modelagem de propostas alternativas para o tratamento do lixo.

## **Referências**

Bacelar, V. S. Lixo urbano. *Revista do Instituto de Pesquisas e Estudos: Divisão Jurídica*, Bauru, n. 44, p. 601-607, set./dez. 2005. Disponível em: <[http://www.ite.edu.br/ripe/ripe\\_arquivos/ripe44.pdf](http://www.ite.edu.br/ripe/ripe_arquivos/ripe44.pdf)>. Acesso em: 17 out. 2009.

Bassanezi, R. C. *Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia*. 3. ed. São Paulo: Contexto, 2006.

Carvalho, J. L. N. et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 277-289, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n2/v34n2a01.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2011.

Dutra, T. P. O lixo é seu. O problema é nosso. In: *Diário de Santa Maria*, Santa Maria, 11 e 12 abr. 2009. Caderno MIX, p. 3 - 5.

Ferreira, J. A. Lixo domiciliar e hospitalar: semelhanças e diferenças. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20., 1999, Rio de Janeiro, RJ. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil20/iii-062.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2010.

Furtado, J. *Ilha das Flores*. Porto Alegre: Casa de Cinema de Porto Alegre, 1989. Disponível em: <<http://www.portacurtas.com.br/Filme.asp?Cod=647#>>. Acesso em: 29 jun. 2009.

Gomes, L. P.; da Conceição, D. C.; Fleck, A. Avaliação dos recalques em sistemas piloto de aterramento de resíduos sólidos urbanos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19., 1997, Foz do Iguaçu, PR. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 1997. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/recalque.pdf>>. Acesso: 05 dez. 2010.

Google Earth 5.2.1.1588. Programa Computacional. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 07 ago. 2009.

Leite, M. B. F.; Ferreira, D. H. L.; Scrich, C. R. Explorando conteúdos matemáticos a partir de temas ambientais. *Ciênc. educ. (Bauru)*, Bauru, v. 15, n. 1, p. 129-138, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v15n1/v15n1a08.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2011.

Lixão se forma no meio do Oceano Pacífico: Toneladas de sujeira contaminam a água. *Fantástico*. Rio de Janeiro: Rede Globo, 15 fev. 2009. Programa de TV. Disponível em: <<http://fantastico.globo.com/Jornalismo/FANT/0,,MUL1003242-15605,00.html>>. Acesso em: 17 mar. 2009.

Revita Engenharia Sociedade Anônima. Empresa responsável pela coleta e manutenção do lixo urbano de Santa Maria, RS. Disponível em: <<http://www.solvi.com/>>. Acesso em: 05 fev. 2011.

Ruggiero, M. A. G.; Lopes, V. L. R. *Cálculo Numérico: Aspectos teóricos e computacionais*. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1996.

Salati, E.; Santos A. A.; Klabin, I. Temas ambientais relevantes. *Estud. av.*, São Paulo, v. 20, n. 56, p. 107-127, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v20n56/28630.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2011.

Santa Maria. Prefeitura Municipal. Portal da Prefeitura de Santa Maria. Disponível em: <<http://www.santamaria.rs.gov.br/index.php>>. Acesso em: 06 jul. 2009.

Siqueira, M. M.; Moraes, M. S. Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo. *Ciênc. saúde colet.*, Rio de Janeiro, v. 14, n. 6, p. 2115-2122, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.org/pdf/csc/v14n6/18.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2011.

Stichting Greenpeace Council. Organização de envergadura mundial. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/international/en/>>. Acesso em: 11 mai. 2009.

Vasconcellos, C. H. et al. *Visual Cálculo Numérico*, Sistema de Cálculo Numérico, versão 5.1. Software matemático. Disponível em: <<http://www.matematica.pucminas.br/lcn/vcn1.htm>>. Acesso em: 05 dez. 2010.

Williams, T. et al. *GNUPLOT*, versão 4.2. Programa matemático de linha de comando. Disponível em: <<http://www.gnuplot.info/>>. Acesso em: 03 abr. 2009.

Recebido em: 05.03.11

Aceito em: 08.12.11