

CRIAÇÃO DE UM APLICATIVO PARA A APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS PARA PREVISÕES DE ELEVAÇÕES DO NÍVEL DO MAR.

Luísa Lopes Carreira e Laura Rebechi Rodrigues
Rafael de Souza Santos e Lucas Fernandes Dervichian

Colégio Santa Rita

Resumo

Este trabalho tem como principal objetivo criar um software que seja capaz de criar projeções sobre o aumento do nível do mar, usando como base dados coletados entre 2000 e 2025 no Brasil para que possibilite projetar possíveis mudanças nos anos de 2025 até 2050. Esse objetivo surgiu em relação a algumas preocupações como: o derretimento das geleiras, efeito estufa e o aquecimento global, o que naturalmente influencia diretamente no aumento do nível do mar. Para que o projeto fosse possível foi baseado em um sistema desenvolvido no programa Visual Studio 2022 em linguagem C# que assim analisa os dados através de um DataGridView. O aumento do nível do mar no Brasil gera muitos problemas que impactam diretamente mais de 2 milhões de pessoas que vivem em áreas afetadas como Recife, Santos e Rio de Janeiro, perdendo em 30 anos mais de 15% das faixas de areia. O método usado nesse trabalho é o dos mínimos quadrados pois ele permite projeções seguras, o que reduz a possibilidade de erros e traz mais confiança para os cálculos. Os dados nos mostram que nos últimos 30 anos o nível do mar aumentou cerca de 13 cm e até 2050 esse número pode chegar a mais de 16 cm. Esses dados comprovam um crescimento contínuo do nível do mar, o que faz com que esse trabalho seja ainda mais importante para que possamos tomar medidas que possam prevenir esse aumento gradativo que veem acontecendo, assim podendo promover adaptações diante dessas mudanças climáticas.

Palavras chaves: Oceano, Método dos Mínimos Quadráticos e Aumento do nível do mar

Introdução

Neste trabalho será desenvolvido um software por meio de método dos mínimos quadrados, que fará um cálculo do nível do mar das praias do Brasil somando os anos 2000 até 2025, calculando para uma previsão de como será em 2050. Com o intuito de conscientização a respeito do efeito estufa, derretimento de geleiras nos pólos e do aquecimento global. Visando dos danos que podem ser causados em longo prazo no planeta Terra.

Objetivo

Desenvolver um programa que, por método dos mínimos quadrados faça um cálculo do nível do mar das praias do Brasil dos anos passados até hoje. Com intenção de conscientização do efeito estufa e aquecimento global.

Metodologia

Pesquisa científica com referências bibliográficas e a criação de um sistema de análise de dados criado no visual Studio 2022 com a linguagem C# e Windows form. Nele temos um DataGridView que vai ler os dados dos últimos anos e através do método dos mínimos quadrados, gerando a projeção dos próximos 25 anos.

Desenvolvimento

O problema inicial investigado é o aumento do nível do mar, sendo hoje uma das maiores ameaças ambientais do século XXI. O aumento dos oceanos diretamente nas cidades tem preocupado os cientistas, atrapalhando em vários ecossistemas, afetando a vida marinha e na população que vive nas cidades costeiras, criando desafios de como lidar com o planejamento urbano e o perigo do mar invadir a cidade. No Brasil, existem praias que perderam 15% da sua faixa de areia nos últimos 30 anos, afetando diretamente em toda infraestrutura, como ruas, áreas de lazer e economia local. É estimado que 2 milhões de brasileiros vivem em áreas de risco, como inundações. Moradores do Rio de Janeiro, Recife e Santos evidenciam a vivência de um grande problema.

Na tentativa de compreender esses fenômenos, foram utilizadas ferramentas matemáticas para compreender esse problema e criar um programa que faça o cálculo de uma projeção dos impactos futuros dessa elevação, com análises detalhadas para previsões confiáveis entre os métodos utilizados está o dos mínimos quadrados, minimizando a soma dos quadrados e a diferença dos valores medidos.

O método mínimo quadrado permite essa projeção mais segura do aumento do mar nos próximos anos, calculando de uma forma mais segura sem alterar por fatos de localização.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n x_i(x_i - \bar{x})}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

Essa iniciativa pode gerar medidas mais seguras para os próximos anos, facilitando a oceanografia e engenharia, sendo muito usado para previsões matemáticas robustas a partir de dados completos.

Os dados disponíveis sobre elevação do mar confirmam a gravidade do fenômeno em escala global. Organização Meteorológica Mundial, Copernicus e a UNESCO indicam que a

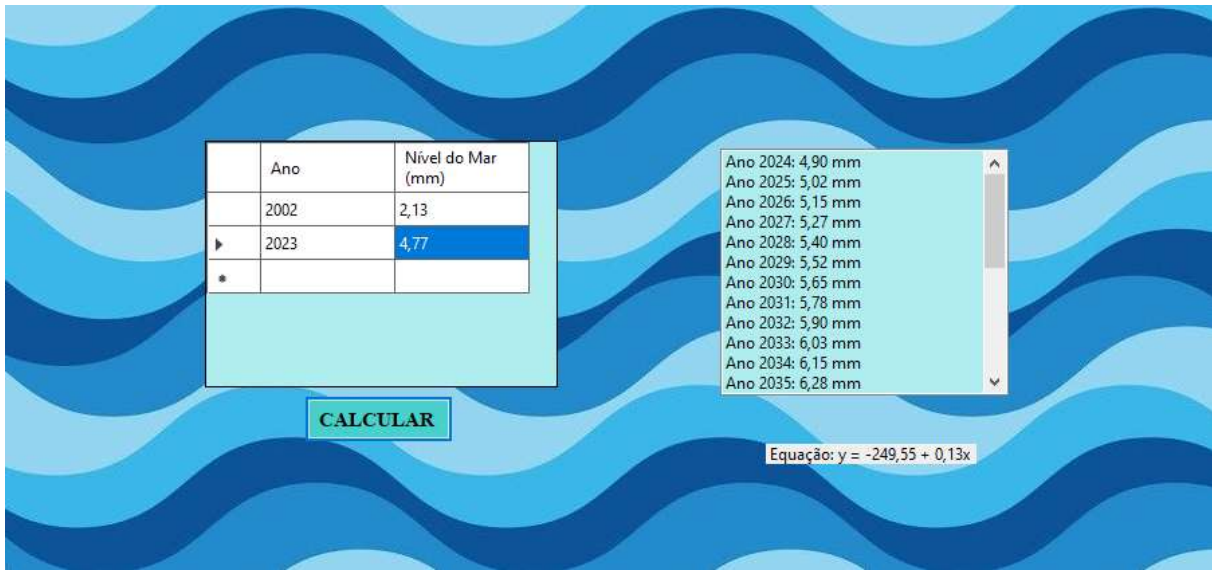
taxa de aumento praticamente dobrou nas últimas décadas, passando de 2,13 mm/ano entre 1993 e 2002 para 4,77 mm/ano entre 2014 e 2023. Esses números mostram como tem aumentado desenfreadamente, sendo uma ameaça crescente para a população costeira.

No contexto brasileiro, diferentes maregramase estudos acadêmicos revelam que a elevação média varia conforme a região: Santos apresenta aumento médio de cerca de 1,2 mm/ano desde a década de 1940, enquanto a Ilha Fiscal, no Rio de Janeiro, registra 1,3 mm/ano entre 1963 e 2011. Recife destaca-se com taxas superiores, chegando a 5,6 mm/ano entre 1946 e 1988, e Atafona (RJ) observou um aumento de 13 cm nos últimos 30 anos, com previsão de mais 16 cm até 2050. próximo ao Rio de Janeiro aumentou de 6.817 mm em 1965 para 7.048 mm em 2022, atingindo 7.102 mm em 2020, um recorde histórico para a série. Esses dados revelam que apesar de existirem variações, a tendência geral é o aumento contínuo. Como um todo, os registros já permitem que montemos sistemas matemáticos significativos e confiáveis, aplicando esse método é possível projetar com maior precisão futura e seus impactos, sendo possível calcular com precisão o aumento do mar em lugares específicos, deixando de lado a construção de barreiras costeiras e planejamento urbano sustentável.

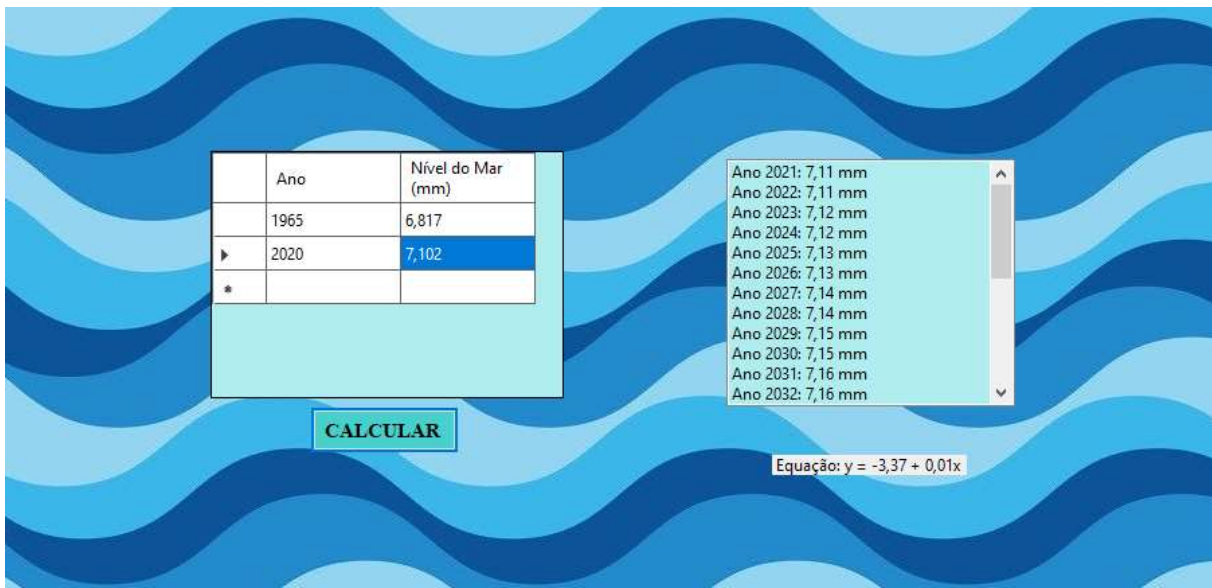
A combinação desses dados fornece um panorama abrangente sobre o avanço do nível do mar e seus impactos. A análise detalhada revela que, entre 2000 e 2025, a taxa média de aumento no Brasil situa-se entre 1 e 5 mm/ano, com destaque para cidades e regiões costeiras que já sofrem impactos mais intensos. Compreender esse fenômeno é crucial para planejamento futuro das áreas litorâneas, visando a preocupação com a população e a vida marinha que também entra em risco. Constitui uma abordagem essencial para ciência e para tomada de decisões no enfrentamento de mudanças climáticas.

Resultados e Discussões

Conta do nível geral:



Conta do nível geral do Rio de Janeiro:



Programação:

```
using System;
using System.Linq;
using System.Windows.Forms;
namespace trabalho_feceg_laura_e_luisa
{
    4 referências
    public partial class Form1 : Form
    {
        1 referência
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            dataGridView1.ColumnCount = 2;
            dataGridView1.Columns[0].Name = "Ano";
            dataGridView1.Columns[1].Name = "Nível do Mar (mm)";
        }
    }
}
```

```
1 referência
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        int n = dataGridView1.Rows.Count - 1; // ignora linha vazia
        double[] x = new double[n];
        double[] y = new double[n];

        for (int i = 0; i < n; i++)
        {
            x[i] = Convert.ToDouble(dataGridView1.Rows[i].Cells[0].Value);
            y[i] = Convert.ToDouble(dataGridView1.Rows[i].Cells[1].Value);
        }
    }
}
```

```
// Média
double mediaX = x.Average();
double mediaY = y.Average();

// Coeficiente angular (b)
double b = x.Zip(y, (xi, yi) => (xi - mediaX) * (yi - mediaY)).Sum() /
           x.Sum(xi => Math.Pow(xi - mediaX, 2));

// Intercepto (a)
double a = mediaY - b * mediaX;

// Mostrar equação
label1.Text = $"Equação: y = {a:F2} + {b:F2}x";

// Criar tabela de projeção
listBox1.Items.Clear();
int ultimoAno = (int)x.Max();
```

```

        for (int ano = ultimoAno + 1; ano <= ultimoAno + 25; ano++)
        {
            double yPrev = a + b * ano;
            listBox1.Items.Add($"Ano {ano}: {yPrev:F2} mm");
        }
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show("Erro: " + ex.Message);
    }
}

1 referência
private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
}

```

Considerações Finais

Com esse trabalho entende-se os problemas que geram o aumento do nível do mar, como expansão térmica de água, quando os oceanos absorvem muito calor e é gerada a expansão e o degelo de geleiras e calotas polares, caso não haja uma intervenção e uma solução o nível do mar tenderá a subir mais a cada ano, então por meio do software criado com a utilização de método dos mínimos quadrados (MMQ) pode-se ver como estará o nível do mar dos próximos anos.

Referências Bibliográficas

Estudo aponta que Santos poderá ser invadida pelo mar nas próximas décadas.

Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2021/11/15/estudo-aponta-que-santos-podera-ser-invadida-pelo-mar-nas-proximas-decadas.ghtml>>.

SANTOS. Mar pode engolir parte de Santos e do Rio de Janeiro, revela estudo da ONU.

Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2023/11/28/mar-pode-engolir-parte-da-cidade-de-santos-revela-estudo-da-onu.ghtml>>.

ATRIBUNA.COM.BR. Avanço do mar: cidade do litoral de São Paulo pode ser

“engolida” pela maré e ficar submersa em 2050; saiba qual é. Disponível em:

<<https://www.atribuna.com.br/cidades/avanco-do-mar-cidade-do-litoral-de-s-o-paulo-pode-ser-engolida-pela-mare-e-ficar-submersa-em-2050-saiba-qual-e-1.450445>>. Acesso em: 24 set. 2025.

WILLIAN, Á. **Estudo da USP revela que litoral de São Paulo tem 20 centímetros de elevação do nível do mar.** Disponível em: <<https://nautica.com.br/estudo-da-usp-revela-que-litoral-de-sao-paulo-tem-20-centimetros-de-elevacao-do-nivel-do-mar/>>. Acesso em: 24 set. 2025.

MACHADO, G. **Partes de Guarujá e Santos podem ser alagadas pelo mar até 2050, diz estudo.** Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/sudeste/sp/partes-de-guaruja-e-santos-podem-ser-alagadas-pelo-mar-ate-2050-diz-estudo/>>. Acesso em: 24 set. 2025.

ATUALIDADES: Mar sobe 18 cm até 2050 | Santos Trade Association | ACS. Disponível em: <<https://acs.org.br/public/index.php/en/news/noticias-do-dia/atualidades-mar-sobe-18-cm-ate-2050>>. Acesso em: 24 set. 2025.

GUIMARÃES, L. **Aumento do nível do mar no Brasil: como as cidades costeiras são afetadas?** Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/aumento-do-nivel-do-mar-no-brasil-como-as-cidades-costeiras-sao-afetadas/>>.

BRASIL. **Brasil perdeu 15% da faixa de areia em 30 anos; avanço do mar ameaça praias e casas.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/meio-ambiente/cop-30/noticia/2025/09/20/brasil-perdeu-15percent-da-faixa-de-areia-em-30-anos-avanco-do-mar-ameaca-praias-e-casas.ghtml>>. Acesso em: 24 set. 2025.

Aumento do nível do mar pode afetar 2 milhões de brasileiros, diz estudo; veja como ficariam capitais mais ameaçadas pela inundação. Disponível em:

<<https://oglobo.globo.com/brasil/meio-ambiente/noticia/2024/06/29/aumento-do-nivel-do-mar-pode-afetar-2-milhoes-de-brasileiros-diz-estudo-veja-como-ficariam-capitais-mais-ameacadas-pela-inundacao.ghtml>>.

MEYER, J. **O oceano está subindo: dados revelam elevação recorde do nível do mar nos últimos 30 anos.** Disponível em: <<https://inpo.org.br/o-oceano-esta-subindo-o-que-os-dados-oficiais-revelam-sobre-a-elevacao-do-nivel-do-mar/>>. Acesso em: 24 set. 2025.

RENATO NEVES DE ALMEIDA O MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS : ESTUDO E APLICAÇÕES PARA O ENSINO MÉDIO UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO -UENF CAMPOS DOS GOYTACAZES -RJ MAIO DE 2015. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://uenf.br/posgraduacao/matematica/wp-content/uploads/sites/14/2017/09/28052015Renato-Neves-de-Almeida.pdf>>.

MCKEE, A. **Método dos mínimos quadrados: Como encontrar a linha mais adequada.** Disponível em: <<https://www.datacamp.com/pt/tutorial/least-squares-method>>.

AFONSO, P.; FABRICIO SIMEONI. **O Método dos Mínimos Quadrados Cálculo Numérico -SME0300.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://sites.icmc.usp.br/apneto/cursos/material/mmq.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2025.