



Universidade Federal de São Paulo  
Instituto de Ciência e Tecnologia  
Arquitetura e Organização de Computadores - Turma IB

# Sistema em Assembly MIPS para Conscientização e Simulação de Eventos Sísmicos

**Integrantes:**

168813 Enzo de Almeida Belfort Rizzi Di Chiara  
168880 João Pedro da Silva Zampoli  
170453 Luiza de Souza Ferreira  
169259 Viviane Flor Park

**Docente responsável:**

Profa. Dra. Thaína A. A. Tosta



Universidade Federal de São Paulo  
Instituto de Ciência e Tecnologia  
Arquitetura e Organização de Computadores - Turma IB

# Sistema em Assembly MIPS para Conscientização e Simulação de Eventos Sísmicos

Terceiro relatório do projeto de Arquitetura e Organização de Computadores (Turma IB) da Universidade Federal de São Paulo para cumprimento dos requisitos de avaliação e aprovação na disciplina.

## **Resumo**

Há registros de que um terremoto no fundo oceânico próximo à Indonésia matou mais de 230 mil pessoas em quatorze países banhados pelo Oceano Índico. Parte importante dessas mortes poderia ter sido evitada com um sistema de alarmes mais eficiente, um recurso tecnológico relativamente simples e disponível em outras regiões costeiras. Este documento descreve o desenvolvimento de um sistema em Assembly MIPS para centralizar informações e ferramentas acessíveis sobre eventos sísmicos. O objetivo é fornecer dados e informações sobre os eventos sísmicos, simular eventos sísmicos e apresentar estatísticas com base em dados fornecidos por usuários.

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>3</b>
1.1	Objetivos . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Materiais e métodos</b>	<b>4</b>
2.1	Bases de dados . . . . .	4
2.2	Funcionalidades . . . . .	4
2.2.1	Histórico de Eventos Sísmicos Registrados . . . . .	4
2.2.2	Simulador de Eventos Sísmicos . . . . .	4
2.2.3	Relato de Experiência . . . . .	7
2.2.4	Recomendações de Sobrevivência . . . . .	7
2.2.5	Guia de Uso do Sistema . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Resultados</b>	<b>8</b>
3.1	Menu Interativo . . . . .	8
3.2	Histórico de Eventos Sísmicos . . . . .	8
3.3	Calculadora de Escala Richter . . . . .	8
3.4	Simulador de Tsunami . . . . .	9
3.5	Relato de Experiência . . . . .	10
3.6	Recomendações de sobrevivência . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Planejamento e cronograma de execução</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>11</b>

# 1 Introdução

A superfície terrestre é composta pelas chamadas placas tectônicas, que são enormes blocos sólidos de terra. Como podem se mover livremente sobre o manto terrestre, áreas de borda entre elas podem ser especialmente agitadas, com altas cordilheiras ou frequente erupção de vulcões [1]. Isso, claro, porque essas áreas são recorrentemente testemunhas de eventos sísmicos, que dão origem aos terremotos e, em alguns casos, tsunamis [2].

Existem dois modos de se classificar a força e o impacto desses eventos: as escalas de magnitude e de intensidade [3]. A magnitude de um terremoto é um valor que mostra o quanto um sismo é maior que outro, enquanto a intensidade sísmica é um parâmetro que representa os efeitos e danos produzidos pelos terremotos na superfície da Terra. Em especial, a Escala Richter [4] é uma escala logarítmica que quantifica a magnitude dos terremotos com base na amplitude das ondas sísmicas que se propagam a partir do epicentro (ponto de origem do sismo).

Inspirado pela notícia de Roberto Peixoto, do jornal G1, de manchete "Satélite da Nasa divulga detalhes inéditos do tsunami que fez a Terra vibrar por nove dias" [5], o sistema desenvolvido nesse projeto propõe centralizar informações a respeito de eventos sísmicos, e assim facilitar o seu acesso. Entre as várias funcionalidades do sistema estão a simulação de terremotos e tsunamis, a coleta de experiências de membros de comunidades afetadas e um guia informacional de atitudes a serem tomadas antes, durante e depois de um fenômeno do tipo.

## 1.1 Objetivos

O objetivo do projeto é criar um sistema que centralize informações e ferramentas acessíveis sobre eventos sísmicos por meio da implementação de um programa em Assembly MIPS. Entre os objetivos específicos do projeto estão:

- Listar eventos sísmicos recentes e respectivas informações relevantes;
- Calcular a magnitude de um evento sísmico na escala Richter;
- Simular a possibilidade de ocorrência de um tsunami se toda a energia dissipada por um terremoto fosse absorvida pela água;
- Calcular breves estatísticas a respeito de eventos sísmicos com base no relato de membros da comunidade;
- Criar uma central de informações apurada e atualizada acerca da conduta frente a um evento sísmico.

## 2 Materiais e métodos

As seções 2.1 e 2.2 descrevem, respectivamente, as bases de dados utilizadas pelo programa e todas as suas funcionalidades.

### 2.1 Bases de dados

Algumas funcionalidades requerem comunicação com arquivos presentes no mesmo diretório que o programa. Ao listar os últimos eventos sísmicos registrados, o programa se comunica com um arquivo *csv*, conforme será explicitado na seção 2.2.1. Na parte de relato de experiência, o programa registra as respostas do usuário em um arquivo *txt*, conforme será explicitado na seção 2.2.3. É importante destacar que o programa não cria esses arquivos.

Para que o programa funcione, ambos devem estar contidos no mesmo diretório onde o programa está instalado. É possível que problemas de escrita em arquivo apareçam caso o acesso ao diretório tenha restrições.

### 2.2 Funcionalidades

A implementação do projeto é feita por meio de um menu interativo, a partir do qual é possível acessar diferentes funcionalidades do sistema. É possível listar os últimos sismos registrados e todas as informações disponíveis sobre eles, simular eventos sísmicos, fazer um relato de experiência, ler sobre medidas de precaução e sobrevivência e, por último, se informar sobre como funciona o sistema. As seções 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4 e 2.2.5 detalham cada uma dessas cinco funcionalidades, respectivamente.

#### 2.2.1 Histórico de Eventos Sísmicos Registrados

O sistema tem acesso a uma base de dados contendo informações sobre os últimos eventos sísmicos registrados. Para fins desse projeto, a base de dados é um arquivo *csv* com dados reais, retirados do site da agência estadunidense *United States Geological Survey* [6].

Quando escolhida essa opção, são listados os últimos eventos sísmicos registrados e as respectivas informações a respeito de cada um. Os dados brutos constam, por exemplo, com a hora e a localização do ocorrido. Além das informações que constam na base de dados, são também apresentadas algumas estatísticas acerca da experiência das comunidades afetadas pelos eventos sísmicos, conforme será visto na seção 2.2.3.

#### 2.2.2 Simulador de Eventos Sísmicos

Quando o usuário é redirecionado para essa opção, um outro menu, mais simples, é aberto. Esse novo menu explica como funciona o processo de simular um evento sísmico e informa três novas opções interativas, sendo a primeira uma calculadora da magnitude de um terremoto na escala Richter, a segunda uma alternativa para o usuário que apenas deseja saber o risco de ocorrer um tsunami a partir de uma magnitude inserida pelo mesmo e a terceira uma maneira de sair do simulador e voltar para o menu principal. A interface do usuário, para esse menu e para o principal, foi desenvolvida utilizando caracteres *Unicode* especiais para criar uma experiência visual mais agradável, com bordas decorativas e ícones intuitivos que melhoram significativamente a interação com o usuário.

## Calculadora Richter

A primeira opção permite que a magnitude do terremoto, já na escala Richter, (M) seja calculada a partir de duas entradas digitadas pelo usuário, os dados sísmicos da amplitude máxima do movimento do solo (A) em  $\mu\text{m}$  e a distância do epicentro em relação ao sismógrafo (R) em km. A segunda alternativa prevê que essa magnitude M seja informada diretamente na forma de um *float* com uma casa decimal, o que deixa o simulador mais simples para o usuário que apenas quer checar a possibilidade de ocorrência de um tsunami a partir de uma magnitude Richter.

A calculadora da magnitude Richter foi construída a partir da equação 1. [7]

$$M_L = \log_{10} \left( \frac{A}{2080 \text{ nm}} \right) + 1,11 \log_{10} \left( \frac{R_{\text{hyp}}}{\text{km}} \right) + \frac{0,00189 R_{\text{hyp}}}{\text{km}} - 2,09 \quad (1)$$

onde:

- $M_L$  é a magnitude Richter padrão para terremotos locais(L),
- $A$  é a amplitude máxima medida pelo sismógrafo (em nm),
- $R_{\text{hyp}}$  é a distância do epicentro em relação ao sismógrafo (em km).
- Os denominadores km e nm representam as unidades de medida de suas respectivas grandezas.

Primeiramente, o programa converte a amplitude, solicitada em micrômetros, para nanômetros e, após isso, ele pode começar a resolver a fórmula descrita. O cálculo da magnitude Richter, em Assembly MIPS, foi implementado com grande precisão numérica, utilizando registradores de ponto flutuante de 32 bits e a equação principal foi estrategicamente dividida em três termos para otimizar o processamento:

- Primeiro termo:  $\log_{10}(A/2080)$  - relacionado à amplitude do movimento.
- Segundo termo:  $1,11 \log_{10}(R)$  - relacionado à distância do epicentro.
- Terceiro termo:  $0,00189R$  - relacionado à distância do epicentro.
- Por último, os três termos acima são somados e um ajuste final é feito subtraindo  $-2,09$  do resultado obtido.

Como não há uma maneira trivial de calcular logaritmos em Assembly MIPS, a solução adotada na implementação da função logarítmica, essencial para o cálculo da magnitude, utiliza:

- Conversão de base de  $\log_{10}(x)$  para  $\ln(x)/\ln(10)$ .
- Série de Taylor melhorada para o cálculo de  $\ln(x)$  baseada na expansão: [8]

$$\ln(x) = 2 \left( y + \frac{y^3}{3} + \frac{y^5}{5} + \dots \right).$$

onde

$$y = \frac{x-1}{x+1}$$

- Otimização para números grandes (  $> 100$ ) através de redução prévia.
- Convergência controlada com epsilon de  $10^{-7}$ .

Além de fornecer a magnitude calculada, o programa ainda retorna a classificação do terremoto baseado na escala Richter, podendo está ser titulada como, em ordem crescente de magnitude: [9]

- Microssismos ( $< 2,0$ ), Muito pequeno (2,0-2,9), Pequeno (3,0-3,9), Ligeiro (4,0-4,9), Moderado (5,0-5,9), Forte (6,0-6,9), Grande (7,0-7,9), Importante (8,0-8,9), Excepcional (9,0-9,9), Extremo ( $>10,0$ ).
- Para cada classificação foi designado um emoji para representar a intensidade, além de o programa retornar uma breve descrição sobre os danos que podem ser causados por um terremoto daquele intervalo e a frequência aproximada de sismos do mesmo tipo que são detectados diariamente ou anualmente.

## Simulador de Tsunami

A opção 2 permite que o usuário digite uma magnitude de terremoto, porém se for escolhida a opção 1, o simulador de tsunami também é calculado a partir da magnitude gerada. O simulador de tsunami permite informar ao usuário se a partir de uma dada magnitude de um terremoto, este irá resultar em risco de tsunami.

A partir da equação 2 de [10], isolando a energia liberada pelo terremoto, temos a equação 3, onde  $I$  é a magnitude do terremoto, um inteiro de 1 a 10, e  $E_0$  é igual a  $7 \times 10^{-3}$  kW/h.

O sistema calcula o expoente de 10 da equação 3, e se houve resto na divisão deste número, guarda esta informação para multiplicar o valor da raiz quadrada de 10 com o resultado da equação 3. Antes de calcular a potência de 10, com o intuito de evitar *overflow*, o sistema verifica se o expoente de 10 pode ser subtraído por algum outro expoente de 10 que irá dividir este número em outra parte do sistema. Após isto, multiplica a potência de 10 pelo valor de  $E_0$ , resultando na energia liberada pelo terremoto.

Supondo que toda energia liberada pelo terremoto foi absorvida pela água, o sistema usa a energia do terremoto calculada como  $E$  na equação 4 de [11], que representa a energia de uma onda em uma área específica. Isolando a altura elevada a 2 nesta equação, tem-se a equação 5.

Primeiramente, converte-se a energia encontrada na equação 3 para joules, multiplicando a mesma por  $3,6 \times 10^6$ . Supondo que a área é de  $1000000 \text{ m}^2$ , divide-se esta energia por esta área, a não ser que esta conta já tenha sido feita com o intuito de evitar *overflow* no cálculo da equação 3.

A partir da equação 5, tendo a energia calculada como  $E$ ,  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  e  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , é calculada a altura da onda ao quadrado.

O sistema considera a altura mínima para uma onda ser considerada tsunami como  $30 \text{ m}$ , portanto a altura da onda calculada na equação 5 é comparada com  $900 \text{ m}^2$ . Se a altura da onda for maior do que este valor, é imprimido uma mensagem de risco de tsunami, caso contrário, é imprimido uma mensagem sem risco de tsunami.

$$I = \left(\frac{2}{3}\right) \log_{10}\left(\frac{E}{E_0}\right) \quad (2)$$

$$E = E_0 \times 10^{\frac{3I}{2}} \quad (3)$$



$$E = \frac{1}{8}\rho g H^2 \quad (4)$$

$$H^2 = \frac{8E}{\rho g} \quad (5)$$

### 2.2.3 Relato de Experiência

A opção de relato de experiência foi uma funcionalidade do sistema pensada como jeito de levantar estatísticas acerca da experiência de membros das comunidades afetadas. Esse relato foi feito por meio de um formulário padrão que conta com sete perguntas *sim ou não*. O formulário foi inspirado em funcionalidade similar do *Earthquake Hazards Program*, da agência estadunidense *United States Geological Survey* [6]. A Tabela 1 mostra as perguntas feitas no formulário.

Tabela 1: Perguntas do formulário do relato de experiência.

Número	Pergunta
1	Você sentiu o terremoto?
2	Outros sentiram o terremoto?
3	Foi difícil ficar em pé e/ou andar?
4	Você percebeu objetos se movendo?
5	Você se encontrava dentro de algum estabelecimento (prédio, casa etc)?
5.1	Houve algum dano estrutural interno perceptível?
5.2	Houve algum dano estrutural externo perceptível?

As respostas às perguntas do formulário são salvas em um arquivo *txt* em formato de string. O primeiro caractere da string indica o número total de pessoas que responderam o formulário, enquanto cada campo subsequente representa a quantidade de respostas positivas (*'sim'*) às perguntas 1 a 5.2. As perguntas 5.1 e 5.2 dependem da pergunta 5 e, portanto, quando esta é respondida com *não*, as respostas a elas também são tomadas como *não*.

Essas respostas são utilizadas para realizar o cálculo das diferentes estatísticas, que são exibidas junto aos dados da opção 1, conforme visto na seção 2.2.1 .

### 2.2.4 Recomendações de Sobrevivência

As recomendações de sobrevivência foram pensadas como forma de disponibilizar informações a respeito da conduta ideal acerca do evento do tipo. Essa funcionalidade está dividida em três: medidas de precaução, conduta durante o evento e medidas a serem tomadas após o evento. Essa divisão foi feita após a pesquisa realizada pelo grupo concluir que esse tipo de recomendação é tratada dessa maneira pela maioria dos sites oficiais de governo, como os da Austrália [12] e dos Estados Unidos [13]. As recomendações serão também baseadas em informações disponibilizadas digitalmente pela *Michigan Technological University* [14] e pela *California Academy of Sciences* [15].

### 2.2.5 Guia de Uso do Sistema

O sistema tem, também, a função de explicar a um novo usuário todas as suas funcionalidades. Para isso, o menu principal é impresso novamente, dessa vez com breves descrições sobre cada funcionalidade disponível.

## 3 Resultados

As subseções abaixo explicitam as entradas e saídas esperadas em cada uma das partes do sistema implementado, além de explicar detalhadamente como cada uma das opções funciona.

### 3.1 Menu Interativo

O menu interativo, conforme descrito na seção 2.2, consta com cinco funcionalidades do sistema, apresentadas como cinco opções entre as quais o usuário pode escolher. Na implementação desse menu em Assembly MIPS, foi inserida uma última funcionalidade, a opção seis, que sai do sistema e encerra o código.

Todas as opções funcionam conforme será explicitado nas próximas seções. Caso o usuário tente escolher uma opção inválida, ele é avisado de tal, o menu reaparece e a escolha de opção pode ser feita novamente.

### 3.2 Histórico de Eventos Sísmicos

A funcionalidade descrita na seção 2.2.1, realiza uma seleção de dados obtidos de forma manual por meio de um arquivo na extensão ".csv" emitido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey*) [6].

São apresentados: data, horário, latitude, longitude, profundidade, magnitude e local dos sismos relevantes detectados em nível global durante um intervalo de 30 dias. Ademais, o sistema também exibe algumas estatísticas adquiridas por meio dos relatos de experiência dos usuários, como se foi possível sentir o terremoto e se houveram danos notáveis em estabelecimentos.

### 3.3 Calculadora de Escala Richter

A calculadora de magnitude na Escala Richter, detalhada na seção 2.2.2, processa duas entradas fornecidas pelo usuário: a amplitude máxima  $A$ , em micrômetros ( $\mu\text{m}$ ), e a distância entre o epicentro do tremor e a estação sismográfica, em quilômetros (km). Após o processamento, o programa retorna a magnitude  $M$  na Escala Richter, um valor adimensional.

Para validar a eficácia do algoritmo, foram realizados diversos testes comparativos com a calculadora encontrada no site *WolframAlpha*[7]. Os resultados demonstraram que o sistema apresenta alta precisão para valores menores de amplitude e distância. Por exemplo: para  $A = 10 \mu\text{m}$  e  $R = 100 \text{ km}$ , o programa calculou  $M = 1,0009$ , muito próximo ao valor esperado de 1,0. Para entradas de maior magnitude, observou-se uma pequena redução na precisão: com  $A = 1120 \mu\text{m}$  e  $R = 970 \text{ km}$ , a calculadora retornou  $M = 5,7898$ , enquanto o resultado esperado era 5,8. Essa imprecisão se deve ao fato de os cálculos logarítmicos serem realizadas por séries de Taylor de logaritmo natural ( $\ln$ ) expandidas.

Após a realização dessa série de testes, o código foi aprimorado para que ele retornasse a magnitude  $M$  com apenas duas casas decimais, uma vez que o resultado continua com alta precisão e ainda garante uma melhor compreensão e padronização dos valores apresentados.

Essas funcionalidades da calculadora estão exemplificadas abaixo na imagem 1, que foi obtido em uma execução do programa no *software* QtSpin:






 Digite a amplitude máxima ( $\mu\text{m}$ ): 1120  
 Digite a distância do epicentro (km): 970  
  
 Processando dados...  
  
 Magnitude na escala Richter: 5.78  
 MODERADO  
> Pode causar danos estruturais em edificios mal concebidos  
> Frequência: ~800 por ano

Figura 1: Exemplo de uma simulação do cálculo da magnitude Richter.

### 3.4 Simulador de Tsunami

O simulador de tsunami, conforme descrito na seção 2.2.2, processa uma magnitude e retorna uma mensagem informando se um terremoto com esta magnitude causaria um tsunami.

Caso o usuário digite a magnitude do terremoto no simulador, esse deverá ser um inteiro entre 1 e 10, representando a Escala Richter, se o usuário digitar um número fora deste intervalo, uma mensagem de erro aparecerá e será requisitado um novo valor ao usuário.

Caso a magnitude seja calculada a partir da Calculadora de Escala Richter, o sistema verifica se essa é menor que 1 ou maior que 10 antes de efetuar os cálculos, caso um dos dois casos aconteça, a magnitude é igualada para o limite onde ocorreu o problema.

Os cálculos são efetuados, como foi descrito na seção 2.2.2, e é retornado uma mensagem de risco de tsunami, conforme mostrada na figura 2, ou sem risco de tsunami, conforme mostrado na figura 3.

Mudanças precisaram ser feitas para evitar *overflow*, conforme descritas na seção 2.2.2. Após serem feitas, todos os resultados dos cálculos foram conferidos, resultando em um sistema funcional e coerente.




 Digite a magnitude Richter (com uma casa decimal): 9  
  
 Processando dados...  
  
 Risco de tsunami!

Figura 2: Mensagem de magnitude com risco de tsunami.

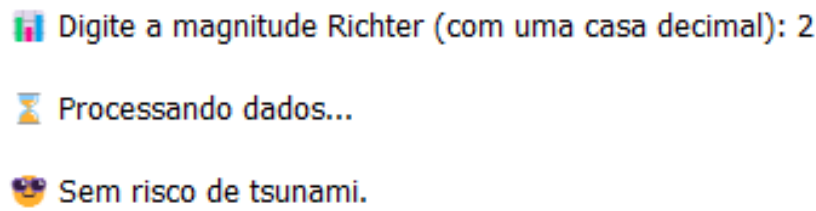


Figura 3: Mensagem de magnitude sem risco de tsunami.

### 3.5 Relato de Experiência

A função de relatar experiência leva diretamente a um formulário, conforme descrito na seção 2.2.4. Para cada pergunta do formulário, um menu de opções é impresso, e então é possível escolher a resposta à pergunta entre *não* (1) e *sim* (2). No caso de uma opção inválida ser digitada, o programa pede que o usuário escolha novamente.

Conforme já mencionado, as perguntas 5.1 e 5.2 do formulário dependem da pergunta 5. Baseado na resposta, essas perguntas podem ser puladas. Caso isso aconteça, é assumido que as respostas a elas foram *não*.

No fim de cada resposta ao formulário, o arquivo *txt* que guarda as respostas é atualizado, e um novo menu é impresso. Esse menu dá a opção de se voltar ao menu principal (1) ou encerrar a sessão (2). Aqui mais uma vez, se uma escolha inválida é feita, o programa pede que o usuário que escolha novamente.

Aqui há, no entanto, uma limitação, já que o jeito que o arquivo *txt* auxiliar foi projetado impede que mais de nove pessoas relatem sua experiência. Isso, entretanto, pode ser ajustado conforme as demandas do sistema.

### 3.6 Recomendações de sobrevivência

A funcionalidade de Recomendações de sobrevivência, conforme descrita na subseção 2.2.4, consiste em apresentar, de forma simples e objetiva para o usuário, medidas que ele deve tomar antes, durante e depois de um evento sísmico. É apresentado ao usuário um menu com 3 opções divididas pela divisão de medidas a se tomar informada anteriormente. Após isso, informações obtidas e selecionadas de órgãos governamentais, como informado na subseção 2.2.4, são exibidas de forma simples e intuitiva para promover um fácil entendimento por parte dos usuários.

## 4 Planejamento e cronograma de execução

O grupo dividiu as tarefas restantes a serem realizadas a fim de se completar o projeto dentro do prazo, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Cronograma de execução de tarefas.

Atividade	Responsável	Meses			
		Nov	Dez	Jan	Fev
Relatório de 1ª Entrega Parcial	Todos	X			
Pesquisas e Propostas	Todos	X	X	X	
Relatório de 2ª Entrega Parcial	Todos		X	X	
Criação de Menu Interativo	Viviane			X	X
Ranking de Eventos Sísmicos	João			X	X
Simulador de Terremotos (Escala Richter)	Enzo			X	X
Simulador de Terremotos (Tsunami)	Luiza			X	X
Relato de Experiência	Viviane			X	X
Recomendações de sobrevivência	João			X	X
Guia de Uso do Sistema	Viviane e Luiza			X	X
Relatório Final	Todos			X	X

## 5 Conclusão

Os eventos sísmicos, conhecidos popularmente como terremotos, são capazes de provocar grandes desastres em diversas comunidades ao redor do mundo, como, por exemplo, a do grande Sismo de Lisboa em 1755, que provocou mudanças profundas na sociedade e no império português [16]. Tendo esses eventos em mente, o sistema desenvolvido em Assembly MIPS busca contribuir para a conscientização e preparo por parte da população em relação a esses eventos, de forma a centralizar informações e fornecer ferramentas de simulação acessíveis.

O projeto implementou com sucesso um menu interativo com opções que visam informar, coletar e estimar dados sobre eventos sísmicos. A calculadora, em particular, mostrou-se capaz de produzir resultados próximos aos valores de referência, principalmente para eventos de menor magnitude. No entanto, o sistema atual apresenta certas limitações consideráveis: A base de dados de eventos sísmicos precisa ser atualizada manualmente, de forma a não possuir integração automática com fontes externas, o armazenamento de dados do formulário de relatos é limitado a um dígito por campo, de forma a limitar os dados enviados pelos usuários. Além disso, a precisão numérica para eventos de grande magnitude pode ser melhorada.

## Referências

- [1] N. G. Society, “Earthquakes,” *National Geographic Education*, 2023. Acessado em 27 nov. 2024.
- [2] F. R. D. D. ANDRADE, “Terremotos e tsunamis no japão,” *Revista USP*, p. 16–29, nov. 2011.
- [3] A. E. d. V. Lopes and L. C. Nunes, “Intensidades sísmicas de terremotos: formulação de cenário sísmico no brasil,” *Revista USP*, vol. 91, p. 94, 2011.
- [4] I. de Sá and A. de Paiva, “O que é a escala richter? como se mede um terramoto?,” *Educação e Matemática*, no. 116, pp. 46–48, 2012.
- [5] R. Peixoto, “Satélite da nasa divulga detalhes inéditos do tsunami que fez a terra vibrar por nove dias,” 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/ciencia/noticia/2024/11/01/satelite-da-nasa-divulga-detalhes-ineditos-do-tsunami-que-fez-a-terra-vibrar-por-nove-dias.ghtml>. Acessado em 9 fev. 2025.
- [6] U.S. Geological Survey, “Earthquake hazards program,” 2025. Disponível em: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards>. Acessado em 19 jan. 2025.
- [7] WolframAlpha, “Richter scale,” 2025. Disponível em: <https://www.wolframalpha.com/input?i=Richter+scale>. Acesso em: 21 jan. 2025.
- [8] A. Lab, “Logaritmo natural,” 2020. Disponível em: <https://academia-lab.com/enciclop%C3%A9dia/logaritmo-natural/>. Acessado em: 09 de fevereiro de 2025.
- [9] WIKIPEDIA, “Escala de richter,” 2024. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Escala\\_de\\_Richter](https://pt.wikipedia.org/wiki/Escala_de_Richter). Acesso em: 07 fev. 2025.
- [10] A. Dantas Neto, “Estudo do logarítmo na educação do ensino médio,” *RDU - UFRSA*, 2017.
- [11] W. B. G. D. W. H. Dias, *Física para Universitários*. AMGH, 2012.
- [12] Government of Western Australia: Department of Fire and Emergency Services, “Earthquake overview,” 2025. Disponível em: <https://www.dfes.wa.gov.au/hazard-information/earthquake>. Acessado em 21 jan. 2025.
- [13] U.S. Department of Homeland Security, “Earthquakes,” 2025. Disponível em: <https://www.ready.gov/earthquakes>. Acessado em 21 jan. 2025.
- [14] Michigan Technological University, “What should i do before, during, and after an earthquake?,” 2025. Disponível em: <https://www.mtu.edu/geo/community/seismology/learn/earthquake-take-action/>. Acessado em 21 jan. 2025.
- [15] California Academy of Sciences, “How to prepare for an earthquake,” 2025. Disponível em: <https://www.calacademy.org/explore-science/how-to-prepare-for-an-earthquake>. Acessado em 21 jan. 2025.

- [16] A. B. de Almeida, *um terramoto em Lisboa (1755). Uma refLeXão de agora, 260 anos depois*. Imprensa da Universidade de Coimbra, 2015. Disponível em: [https://ap1.sib.uc.pt/bitstream/10316.2/38268/1/um\\_terramoto\\_em\\_lisboa\\_1755\\_uma\\_reflex\\_o\\_de\\_agora\\_260\\_anos\\_depois.pdf](https://ap1.sib.uc.pt/bitstream/10316.2/38268/1/um_terramoto_em_lisboa_1755_uma_reflex_o_de_agora_260_anos_depois.pdf). Acessado em 08 fev. 2025.