



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

Sistema em Assembly de Apoio aos Governantes do Amazonas: Prevenção de Enchentes

Integrantes:

Guilherme Miguel Spyrides Leite Ferro - 176466

Karen Rodrigues de Melo - 176547

Luiza Dugois Silva Alves - 177115

Maria Clara Freire Araújo - 178166

Docente responsável: Profa. Dra. Thaína A. A. Tosta

São José dos Campos
2025/2



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

Sistema em Assembly de Apoio aos Governantes do Amazonas: Prevenção de Enchentes

Segundo 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.

São José dos Campos
2025/2

Conteúdo

1	Introdução	2
1.1	Objetivos	3
2	Materiais e métodos	3
2.1	Previsão de enchentes	6
2.2	Banco de dados	7
2.3	Bitmap	8
2.4	Alocação de recursos	10
2.4.1	Infraestrutura verde e azul.	10
2.4.2	Infraestrutura cinza	11
2.4.3	Aplicação no código.	11
3	Resultados	13
3.1	Teste 1	14
3.2	Teste 2	19
4	Planejamento e cronograma de execução	21
5	Conclusão	22

Resumo

Devido à presença da bacia do Amazonas e ao clima predominantemente equatorial úmido, a região norte do Brasil é cenário ideal para um sério fenômeno climático: as enchentes. A elas, deve ser atribuída seriedade, dado o impacto em setores sociais, ambientais e econômicos da região. A conscientização acerca do tema é ampla em todo o território nacional e distintas ferramentas de previsão para tal problemática foram desenvolvidas, aprimoradas e disseminadas por entidades importantes, bem como o Serviço Geológico do Brasil (SGB) e o CEPED UFSC, em parcerias com o Governo Federal. Entretanto, no cenário hodierno brasileiro, iniciativas que visem à prevenção de enchentes, quando tais previsões são detectadas, não são encontradas. Assim, o presente trabalho tem como foco o desenvolvimento de um sistema de prevenção a enchentes que auxilie os líderes locais da Região Norte do Brasil na administração de recursos financeiros e estruturais. No projeto desenvolvido, a previsão será usada não apenas como ferramenta de alerta, mas também como de estimativa para guiar a simulação das decisões a serem tomadas pela gestão, com base no capital disponível para investimento e nos custos de serviços.

1 Introdução

A Região Norte do Brasil — em particular o estado do Amazonas — é conhecida mundialmente pelo seu clima equatorial úmido e pela presença da Floresta Amazônica, uma maravilha natural. Essa parte do território é marcada pela maior bacia hidrográfica do mundo, a Bacia Amazônica. Essas características climáticas e hidrológicas explicam o grande volume de água na região e o comportamento da vegetação latifoliada ali presente, que suporta chuvas pesadas.

Historicamente, sabe-se que o desmatamento crescente na região tem reduzido a capacidade natural de regular o ciclo hidrológico. As chuvas, junto com a falta de planejamento urbano — sobretudo à ausência de sistemas de drenagem eficientes — são as principais causas dos alagamentos, visto que o volume de água aumenta em certas épocas do ano, enquanto a crescente concentração de construções impermeabiliza o solo e reduz a vegetação que antes absorvia parte dessa água, desequilibrando o ciclo [1].

Problemas antes enfrentados e resolvidos pela natureza agora precisam ser enfrentados em maior escala e resolvidos pelos municípios que se desenvolveram nessas áreas. Em relação a esses problemas da sociedade amazonense, o aumento de casos de enchentes tem sido acompanhado por números cada vez mais alarmantes de vítimas. Em 2025, 40 dos 62 municípios do estado entraram em estado de alerta devido às cheias dos rios, totalizando 530 mil pessoas diretamente afetadas [2].

Em vista desses acontecimentos, a Defesa Civil do Amazonas, em parceria com os municípios, desenvolveu planos táticos e de contingência para situações de inundação, os quais têm por objetivo conscientizar a população sobre os abrigos, o socorro e os serviços disponíveis em casos de alagamento [3], incluindo um sistema de alerta automatizado e em tempo real para todos os dispositivos [4]. Além disso, outras ferramentas também foram pensadas para prever e alertar a população acerca de enchentes; dentre elas, destacam-se:

- O site do Governo Federal, juntamente com o Serviço Geológico do Brasil (SGB), o qual apresenta um mapa com riscos de desastres em todo país e diagnósticos de populações em riscos geológicos [5];
- O Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil para os anos de 2025 a 2035, desenvolvido pelo Governo Federal, em parceria com os Ministérios e instituições acadêmicas do país, que prevê os possíveis desastres naturais que ocorrerão no território e, com base na previsão, promove a discussão de decisões a serem tomadas a curto, médio e longo prazo [6];
- O aplicativo Dados à Prova d'Água, elaborado por pesquisadores de faculdades e universidades de diversos países, integrantes do Centro Nacional de

Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) e escolas brasileiras, o qual objetiva a coleta de informações e previsões de enchentes, a fim de relatá-las à comunidade e agências governamentais [7].

Todavia, apesar dos notáveis esforços visando a previsão dos desastres naturais e o alerta das enchentes, poucos esforços foram direcionados à prevenção do desastre de fato. Algumas discussões sobre a prevenção dos impactos foram incentivadas, como as discussões propostas pelo Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil [6]. Contudo, não houve articulações que almejassem reduzir os casos ou a severidade das enchentes.

1.1 Objetivos

Sob essa ótica, o presente trabalho tem como objetivo não apenas calcular e alertar as autoridades sobre casos futuros de enchentes, mas também oferecer ferramentas de simulação que articulem recursos financeiros e infraestrutura do estado do Amazonas, visando melhorar a drenagem hídrica e aproximar-se da regulação natural do ciclo hidrológico, amenizando a gravidade e a incidência das enchentes. Como objetivos específicos, têm-se:

1. Utilizar bases de dados confiáveis para dar início a uma base de dados própria, gerenciada pelos representantes governamentais, que permita o cálculo e a previsão efetivos/atualizados de futuras enchentes;
2. Analisar o quanto o esgotamento sanitário e a urbanização e arborização das vias públicas têm impacto sobre os casos de enchente;

2 Materiais e métodos

Em conformidade com o terceiro objetivo específico do projeto, o núcleo de processamento, a lógica de simulação e a interface visual do sistema foram desenvolvidos integralmente em Assembly MIPS no simulador MARS. Apenas a etapa prévia de formatação dos dados brutos utilizou um script auxiliar em Python.

Para testes iniciais do sistema, foram escolhidas 4 cidades dentre os mais de 40 municípios afetados pelas enchentes no Amazonas, sendo elas: Itacoatiara, Manacapuru, Parintins e Manaus, pela facilidade com relação ao acesso às informações fluviais de suas regiões. [8]. Como mostrado na Tabela 1, para fins de teste, foi estipulado que a “Cota Atual” dos rios seria, inicialmente, a média da maior cota já registrada naquele rio com a menor cota já registrada.

Além disso, a análise da precipitação nessas cidades é feita, no sistema, por trimestre, sendo eles: dezembro a fevereiro, março a maio, junho a agosto e setembro a novembro. Tal divisão de meses, diferente do padrão convencional, é

explicada pelo comportamento das chuvas em dezembro, que se assemelham muito às de janeiro e fevereiro, influenciando os demais agrupamentos de meses. A organização desse tipo de dado pode ser vista na Tabela 2, que apresenta a média, em milímetros, das médias das precipitações que compõem cada mês de cada trimestre [9, 10, 11, 12].

Outros tipos de dados de suma importância para o desenvolvimento do projeto e seu diferencial com relação aos demais já lançados, são as porcentagens de infraestrutura. Utilizadas para estimar a capacidade de drenagem de chuva de uma cidade, essas porcentagens, como esgotamento sanitário por rede geral, rede pluvial ou fossa ligada à rede, arborização de vias públicas e urbanização de vias públicas podem ser vistas na Tabela 3 [13, 14, 15, 16].

Tabela 1: Cotas dos Principais Rios por Cidade no Amazonas

Cidade / AM	Nome do rio	Cota de Alerta (cheia) (m)	Cota atual (m)
Itacoatiara	Amazonas	13,5	7,78
Manacapuru	Solimões	17,7	11,985
Parintins	Amazonas	8	3,65
Manaus	Negro	27	21,36

Tabela 2: Média de Precipitação (mm) por Trimestre e Cidade do Amazonas

Cidade / AM	Precipitação dez - fev (mm)	Precipitação mar - mai (mm)	Precipitação jun - ago (mm)	Precipitação set - nov (mm)
Itacoatiara	311	334	125	147,3
Manacapuru	357	410,3	164,7	178
Parintins	322,7	353,67	126	131,3
Manaus	301,3	353	131,3	164,3

Tabela 3: Porcentagens Infraestruturais por Cidade no Amazonas

Cidade / AM	Urbanização das vias públicas (%)	Arborização de vias públicas (%)	Esgotamento sanitário por rede geral, rede pluvial ou fossa ligada à rede (%)
Itacoatiara	11,9	64,99	8,09
Manacapuru	11,9	34,37	12,71
Parintins	10,2	56,4	17,02
Manaus	26,3	45,78	49,19

Para entrar no sistema, o usuário precisa digitar o seu nome e senha corretos. Esse passo de segurança garante que somente a autoridade vigente tenha acesso ao sistema e consiga adicionar novas informações ao seu banco de dados, mantendo a confiabilidade dos cálculos. Após logado, o usuário pode optar por checar as previsões ou adicionar os novos dados ao banco do sistema.

O código foi dividido em diferentes arquivos, sendo eles:

- `trabalhoaoc.asm`: é o arquivo principal do sistema. É responsável pela inicialização do programa, pela verificação do *login* do usuário e pela apresentação do menu principal, permitindo o usuário navegar entre as funcionalidades de previsão, edição de dados e simulação de investimento. Ele dita a chamada dos demais módulos.
- `calculo.asm`: é o módulo de consulta de previsão de enchentes. Este arquivo lê os dados do arquivo binário *dados.bin* e executa o algoritmo de previsão de enchentes, calculando o nível final dos rios com base na precipitação e fatores de permeabilidade do solo, retornando o status de alerta e as porcentagens de risco para cada cidade.
- `adiciona.asm`: consiste no módulo de persistência de dados [17]. É o responsável pela funcionalidade de escrita no "banco de dados" *dados.bin*. Ele calcula o *offset* de memória específico para a cidade e o tipo de dado selecionado (precipitação, cota ou infraestrutura) e atualiza o arquivo binário, garantindo que novas informações inseridas pelo usuário sejam salvas permanentemente;
- `investimento.asm`: módulo de simulação de investimento. Implementa a lógica financeira do sistema, permitindo ao usuário alocar um saldo em diferentes tipos de infraestrutura (arborização, urbanização e saneamento). O código converte os valores investidos (em *float*) em pontos de redução de risco, calculando novamente a gravidade das enchentes em tempo real;
- `bitmap.asm`: é o módulo de visualização gráfica. Ele gerencia o *Bitmap Display* do MARS para desenhar o mapa da região. Ele altera a cor dos pontos que representam cada cidade — sendo vermelho para alerta e branco para situação normal — com base nos resultados processados pelo *calculo.asm*.
- `gerardados.py`: É um script auxiliar em Python, que extrai os dados brutos da planilha, realiza a limpeza dos caracteres e, por fim, gera o arquivo binário *dados.bin*, que serve como o "banco de dados" para o sistema.

Desenvolvendo mais sobre a implementação do sistema proposto, o projeto pode ser separado em 4 áreas principais, descritas a seguir.

2.1 Previsão de enchentes

Em suma, os fatores que determinam a ocorrência e a gravidade das enchentes são: a cota atual dos rios da região, a quantidade de precipitação e a capacidade de drenagem da infraestrutura local. Assim, para que o sistema preveja a ocorrência de enchentes, ele deve calcular, a partir da cota atual do principal rio da região, a precipitação sobre a região que não consegue ser absorvida pelo solo e é, então, acumulada no rio.

O cálculo da cota atual do rio, para fins gerais, é feito pela média entre a cota mínima e a cota máxima já registradas até maio de 2024 [8]. Como as informações do tipo esgotamento sanitário e a urbanização e arborização das vias públicas impactam na absorção da água da chuva, esses dados, estimados pelo IBGE também serão levados em conta [13, 14, 15, 16]. Todavia, em especial para a cidade de Parintins, por conta de novos e consideráveis investimentos em reflorestamento e esgotamento [18, 19], uma nova porcentagem foi estimada para ser acrescentada às porcentagens antigas apresentadas pelo IBGE. Ainda, é levado em consideração os valores obtidos do cálculo da média mensal de precipitação em cada cidade durante os últimos 30 anos [9, 10, 11, 12].

A fim de verificar se o rio irá superar a sua cota de alerta [8], toma-se por hipótese que a soma das porcentagens de arborização das vias urbanas e esgotamento sanitário, decrescida da porcentagem de urbanização das vias, é equivalente à porcentagem da chuva que é absorvida pelo solo na região. Com o intuito de prever a quantidade não absorvida e, conseqüentemente, acumulada no rio, subtrai-se a porcentagem absorvida de 100%. Esse último valor calculado é multiplicado pela média da previsão de chuva do trimestre desejado e multiplicado por 90 - o número de dias no trimestre - e dividido por 1000, para ser transformado de milímetros para metros.

Apesar de não ocorrerem chuvas durante todos os dias do ano, considera-se o caso extremo para garantir a máxima segurança da previsão. Caso a adição da cota atual do rio ao resultado da multiplicação da chuva pelo fator que impede a drenagem e pelos dias do mês superar a cota limite do rio [Tabela 1], o alerta deve ser emitido.

Fórmula para o cálculo do nível atual do rio a ser comparado com a cota limite:

$$\text{Nível do Rio} = \text{Cota Atual} + \left(\frac{(100 - (\text{Arb} + \text{Esg} - \text{Urb})) \times \text{Precip} \times 90}{100 \times 1000} \right)$$

Os dados citados acima são guardados em um banco de dados próprio do sistema, o qual pode ser atualizado a todo instante. Esse fato garante o sincronismo e a correteude dos cálculos realizados, pelo fato de os valores analisados serem sempre de origem confiável.

Após o cálculo do nível do rio e a sua comparação com a cota limite para aquele

rio, os sinais de alerta ou de padrão normal são enviados para um Bitmap que mostra as 4 cidades e seus estados de alerta. Após verificar a previsão da situação das cidades, o usuário pode optar ou não por procurar medidas de prevenção pelo simulador do sistema.

2.2 Banco de dados

A implementação de um sistema de banco de dados em assembly apresentou desafios significativos, principalmente devido à complexidade de manipulação de arquivos de texto e conversão de strings para formatos numéricos de ponto flutuante. Para contornar essas limitações, garantindo a integridade dos dados utilizados nas previsões de enchentes, optou-se por uma abordagem híbrida.

Uma limitação técnica encontrada no ambiente de simulação MARS refere-se ao endereçamento de arquivos externos. Devido a restrições de reconhecimento do diretório de execução padrão do simulador, o sistema exige a configuração do endereço do arquivo 'dados.bin' no código-fonte para garantir a leitura correta dos dados em diferentes máquinas. Esta restrição requer que o usuário ajuste o diretório raiz no momento da compilação.

O “banco de dados” do sistema não está diretamente na memória volátil ou em um arquivo de texto, mas sim em um arquivo binário estruturado, denominado de *dados.bin*. A criação deste arquivo foi intermediada por um script auxiliar em Python. A escolha pelo Python se dá pela sua capacidade nativa de manipular arquivos e pela presença de bibliotecas de estruturação de dados binários.

O fluxo de dados foi projetado da seguinte maneira:

1. As informações climáticas e geográficas, presentes nas Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3, são mantidas em uma planilha, facilitando a leitura e edição.
2. O script em Python lê o arquivo da planilha, realiza a limpeza dos dados (removendo sufixos como "L/s" e algumas pontuações que não permitem a leitura direta no MARS) e os convertem para números de ponto flutuante.
3. Utilizando a biblioteca *struct*, os dados são armazenados em sequências de bytes em um formato compatível com a arquitetura simulada pelo MARS. Cada cidade ocupa um bloco fixo de memória (40 bytes), contendo 10 valores float consecutivos.
4. Então, o sistema principal e seus módulos acessam este arquivo binário através de *syscalls* de leitura e escrita (13, 14, 15). Como os dados já estão em binário, o código pode carregá-los diretamente para os registradores *\$f0-\$f31*, removendo a necessidade de algoritmos mais complexos de conversão de texto para número durante a execução.

Essa arquitetura permitiu que o módulo *adiciona.asm* realizasse a persistência de dados [17]. Quando o usuário opta por atualizar uma informação, o sistema calcula o deslocamento exato do byte correspondente àquela cidade e sobrescreve apenas aquela posição, garantindo que as alterações sejam salvas para execuções futuras.

2.3 Bitmap

O bitmap é uma ferramenta do MARS que permite a representação visual por um display de diversos tamanhos. O funcionamento dele é intuitivo, e sua aba de configuração possui 3 características personalizáveis:

- Tamanho da unidade: originalmente definida como 1x1 pixel, no projeto foi optado por uma unidade de 8x8;
- Tamanho da tela: foi escolhido o tamanho 1024x512, para facilitar a visualização do mapa;
- Local de armazenamento: o MARS disponibiliza alguns endereços de memória base para armazenamento do bitmap. Para este programa, foi escolhido o 0x10040000.

Os primeiros testes foram realizados com unidades de tamanho 16x16 pixels. Essa escolha se justificou pelas dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do código, entre elas: a escassez de conteúdo explicativo sobre o funcionamento do mapa e a dificuldade em implementar operações de pintura mais complexas, que permitissem um código mais compacto sem perda de eficiência ou praticidade.

Quando esses obstáculos iniciais foram superados, o código pôde ser desenvolvido rapidamente com o auxílio de quatro funções:

- **calculo_endereço:** Transforma coordenadas (x,y), fornecidas pela chamada da função de pintura, em um endereço no bitmap. Cada unidade no bitmap ocupa 4 bytes na memória, e os endereços são armazenados sequencialmente, logo, o cálculo de endereço pode ser feito da seguinte forma:

$$\text{Deslocamento} = \text{endereço base} + (y \times \text{largura} + x)$$

- A largura é o tamanho total da tela em bits dividido pelo tamanho da unidade, nesse caso, a largura é de $1024/8 = 128$;
- Ambas as multiplicações por 4 e por 128 são feitas com funções de deslocamento a esquerda.

- **tinta:** Recebe uma posição no vetor cores, situado no começo do código, e calcula o endereço da cor nesse vetor, guardando o código hexadecimal no registrador que será usado na função seguinte;
- **ponto:** Recebe as coordenadas a serem pintadas, faz uma checagem se as coordenadas são válidas para evitar acesso em locais não desejados da memória e, em seguida, chama as funções de cálculo de endereço e de tinta (guardando endereço de retorno em uma pilha para garantir que o código não quebre no meio do caminho por não saber para onde deve retornar);
- **linha:** Como mencionado anteriormente, o display possui dimensão de 128 por 64 unidades, o que resultaria em um código de pintura para 8192 unidades. Optou-se por manter esse tamanho, ainda que isso exigisse um código mais complexo. Para viabilizar essa decisão, foi desenvolvida uma função capaz de pintar uma linha horizontal de tamanho variável a partir de uma certa coordenada (x,y).

A implementação dessa função constituiu a maior dificuldade desta parte do projeto, visto que operações envolvendo loops exigem maior cautela para evitar ciclos infinitos ou falhas na execução — problemas que ocorreram frequentemente durante o desenvolvimento. Após uma longa busca por soluções, encontrou-se uma video-aula [20] exatamente sobre o tema, que serviu de base para a construção das funções utilizadas na pintura dos pixels. Com isso em mente:

- O primeiro passo é armazenar o endereço de retorno atual em uma pilha de ponteiros e, em seguida, alocar espaço para outra pilha de ponteiros que irá guardar os dados do ponto, permitindo que o loop funcione corretamente sem sobrescrever as informações utilizadas no cálculo. Cada dado necessário é então colocado em um espaço dessa pilha — a coordenada x, a coordenada y, a cor e o tamanho da linha;
- Após a pintura do ponto atual, a coordenada x é atualizada ($x = x + 1$) e o tamanho da linha é decrementado da mesma forma ($\text{tamanho} = \text{tamanho} - 1$). A função é então chamada novamente até que o tamanho chegue em zero e não restem unidades a serem pintadas. Ao final, realiza-se o reset da pilha de ponteiros, conforme o procedimento padrão.

Ao final, a pintura do bitmap foi realizada, de forma simplificada, linha por linha, com base nas observações feitas a partir das imagens de satélite das quatro cidades, enumeradas de 1 a 4.

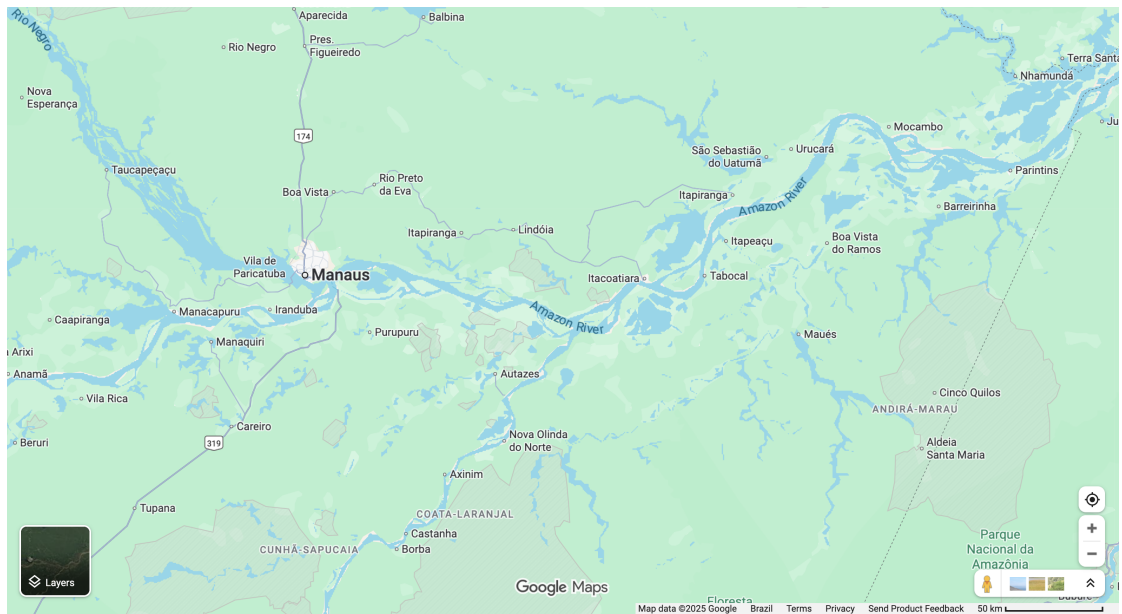


Figura 1: Mapa de uma porção da Região Amazônica[21]

Vale ressaltar que a representação visual no Bitmap Display do simulador MARS possui limitações inerentes quanto à plotagem de caracteres alfanuméricos sobre a interface gráfica. Devido à alta complexidade de renderizar fontes de texto pixel a pixel em linguagem Assembly, optou-se por uma representação topológica simplificada, priorizando a lógica de alerta (cores) em detrimento do detalhamento cartográfico textual.

2.4 Alocação de recursos

Alocar recursos públicos para a mitigação de enchentes concerne compreender como estruturas distintas afetam a repercussão do ciclo hidrológico urbano, principalmente com relação às suas consequências para com os cidadãos. Uma estratégia eficaz, para ser assumida pela administração pública, deve combinar investimentos em infraestrutura verde, infraestrutura cinza de drenagem e sistemas adequados de saneamento, dado que enchentes tendem a decorrer de problemáticas envolvendo a impermeabilização do solo, a drenagem da água e a coleta de esgoto. [22]

2.4.1 Infraestrutura verde e azul.

A infraestrutura verde e azul é fundamental para reduzir o volume de água que chega às ruas. Estruturas como a arborização urbana, com finalidade de aumentar a área permeável no entorno das árvores, o reflorestamento de margens de rios e

córregos e a expansão de áreas verdes urbanas reduzem o escoamento superficial e a pressão sobre redes de drenagem.

2.4.2 Infraestrutura cinza

Infraestrutura cinza de drenagem.

A infraestrutura cinza, que envolve a capacidade da cidade de escoar a água da chuva eficientemente, é crucial para a segurança dos cidadãos urbanos.

Conforme Brabec [23], recursos devem ser alocados para a substituição do asfalto convencional por materiais permeáveis, bem como concreto ou asfalto poroso, por reduzir, de modo significativo, o escoamento superficial da água e, consequentemente, eventos extremos decorrente das chuvas.

Infraestrutura cinza de saneamento.

Relacionada à permeabilidade do pavimento urbano está a drenagem pluvial, bem como a rede de esgoto. A drenagem pluvial e a rede de esgoto devem atuar separadamente, dado que a mistura entre essas águas compromete a capacidade de vazão dos sistemas pluviais, fator que, consequentemente, contribui para a ocorrência de enchentes. Logo, recursos devem ser alocados para a expansão da rede coletora de esgoto e a fiscalização de ligações irregulares entre rede pluvial e sanitária. [24]

2.4.3 Aplicação no código.

Visão geral

Ao inicializar o código, são impressos os valores das gravidades iniciais dos rios (Amazonas, em duas cidades distintas: Paritins e Itacoatiara, Solimões e Negro), armazenados em registradores do tipo *float*.

Cabe ressaltar que, por *gravidade*, compreende-se o nível do risco de enchentes e inundações de cada rio, expresso como uma porcentagem que varia entre 0 a 100, sendo 0 a representação de risco mínimo e 100 a representação do risco máximo de enchentes.

Em segunda instância, é pedido que o usuário insira um valor monetário base (saldo) que considera estar disponível para ser investido em recursos que diminuam a porcentagem da gravidade dos rios.

A princípio, no laço principal do algoritmo, é impresso o saldo atual armazenado. Em seguida, são oferecidas quatro opções para escolha:

1. Alocar recursos (a um rio).

2. Adicionar saldo.
3. Acessar porcentagens (para ver o estado atual dos rios).
4. Voltar ao *menu* (para voltar ao código principal).

Definição das gravidades dos rios.

Opção 1: Alocar recursos.

Caso seja escolhida a primeira opção, o usuário deverá escolher a porcentagem, referente ao saldo disponível, que destinará ao investimento de arborização das vias públicas (P1), à urbanização das vias públicas (P2) e ao saneamento da cidade escolhida (P3).

Cálculo e aplicação da melhoria.

Para cada serviço mencionado (P1, P2 e P3), são efetuados os seguintes cálculos:

$$porcentagem_real = porcentagem_digitada / 100$$

$$dinheiro_gasto = saldo * porcentagem_real$$

$$melhoria_obtida = dinheiro_gasto / prego_do_servico$$

Logo, o total da melhoria acerca do rio escolhido será a soma de *melhoria_obtida* efetuada em P1, P2 e P3. Esse total será subtraído das gravidades de cada rio, as mesmas apresentadas na inicialização do código.

Ainda, as porcentagens escolhidas são multiplicadas e subtraídas do saldo disponível que, é, então, atualizado.

Precificação dos serviços P1, P2, P3.

Seguem os valores dos serviços, por 1% de melhoria:

Arborização das vias públicas (P1): R\$4.800
Urbanização das vias públicas (P2): R\$11.000
Saneamento da cidade escolhida (P3): R\$10.000

É válido ressaltar que foram estabelecidos valores fixos de referência para cada unidade percentual de melhoria (R\$ 4.800,00, R\$ 11.000,00 e R\$ 10.000,00). No estágio atual do protótipo, esses custos estão definidos como constantes internas no código-fonte para garantir a consistência dos testes de cálculo em ponto flutuante.

Opções 2, 3 e 4

A segunda opção efetua, simplesmente, a adição de saldo.

A terceira opção imprime as gravidades atuais de cada rio.

A quarta opção retorna a sequência do código ao código principal.

Integridade do código

Para que a integridade do código fosse mantida, foram aplicados os seguintes quesitos:

1. Fluxo de controle.

Após cada operação, é perguntado ao usuário se ele(a) deseja continuar. Escolhido “Sim”, o algoritmo retorna ao laço principal do módulo de alocação de recursos. Escolhido “Não”, o módulo é encerrado e são impressas as gravidades atualizadas após as melhorias (se foram efetuadas).

2. Validação de limite.

Considerando casos em que a gravidade, após a melhoria, seja atualizada para um valor negativo, o valor é ajustado para zero.

3. Validação da soma das porcentagens.

É garantido que, a soma das porcentagens alocadas em relação ao saldo disponível, não ultrapasse 100%.

3 Resultados

No geral, o desempenho do sistema desenvolvido foi satisfatório e cumpriu os objetivos propostos de auxiliar na prevenção de desastres naturais. O código conseguiu realizar as operações de previsão corretamente, processando dados fluviais e pluviométricos de forma precisa através dos registradores de ponto flutuante *float*, classificando adequadamente o estado de alerta de cada município. Além disso, a integração com o bitmap foi eficaz, permitindo que o usuário visualizasse graficamente as zonas de risco no mapa do Amazonas.

O sistema também ofereceu funcionalidades sólidas de gestão, possibilitando ao usuário não apenas consultar o cenário atual, mas atuar ativamente na mitigação do problema. Foi possível simular investimentos financeiros em infraestrutura, observando a redução percentual da gravidade em tempo real, bem como atualizar a base de dados de forma persistente através da manipulação de arquivos binários.

Para validar o funcionamento do sistema desenvolvido, foram realizados testes funcionais abrangendo todos os módulos integrados. Os testes visaram confirmar a precisão dos cálculos em *float*, a correta manipulação do arquivo binário e a resposta visual da interface gráfica.

3.1 Teste 1

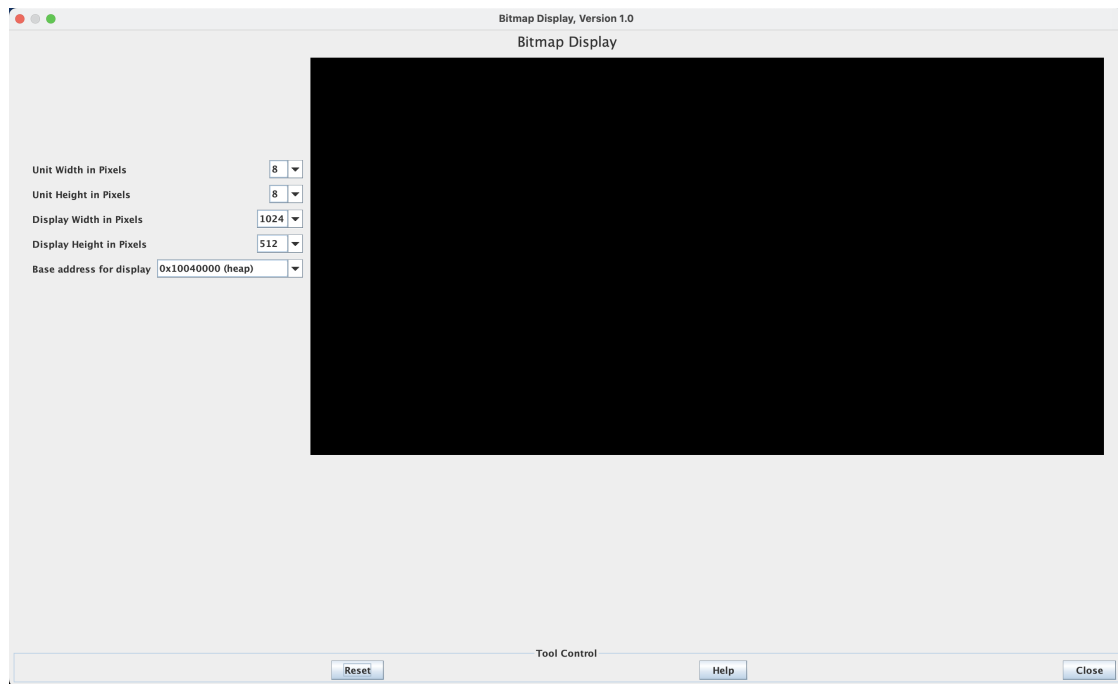


Figura 2: Bitmap do Teste 1 zerado, inicialmente

```

=====»§«=====»§«=====»§«=====»§«=====
» SEJA BEM VINDO AO SISTEMA DE PREVENÇÃO CONTRA ENCHENTES NA REGIÃO NORTE DO BRASIL «
=====»§«=====»§«=====»§«=====»§«=====

»Digite o seu nome de usuário:
nome certo

»Digite a sua senha:
senha errada

xxxxx USUÁRIO OU SENHA ERRADOS xxxxx

»Digite o seu nome de usuário:
nome certo

»Digite a sua senha:
senha certa

=====»§«=====»§«=====»§«=====»§«=====
                        »ACESSO LIBERADO«
=====»§«=====»§«=====»§«=====»§«=====

=====» MENU «=====
»Selecione o que deseja fazer:
»1 - Consultar previsões
»2 - Adicionar novas informações
»3 - Sair do sistema
Sua escolha: 1

»Escolha um trimestre de 2026:
1 - Dezembro a Fevereiro      2 - Março a Maio      3 - Junho a Agosto      4 - Setembro a Novembro
Sua escolha: 1

[TESTE] Status (0=Alerta, 1=Normal) - Itac/Manac/Parin/Manaus: 0 0 0 0
[TESTE] Porcentagem Excedente (%) - Itac/Manac/Parin/Manaus: 38.11 85.37 79.15 10.57

» Digite 1 para voltar ao menu principal ou 2 para simular investimento:

```

Figura 3: 1º Run I/O do Teste 1



Figura 4: Bitmap do Teste 1 após consulta do primeiro trimestre

```

[TESTE] Status (0=Alerta, 1=Normal) - Itac/Manac/Parin/Manaus: 0 0 0 0
[TESTE] Porcentagem Excedente (%) - Itac/Manac/Parin/Manaus: 38.11 85.37 79.15 10.57

» Digite 1 para voltar ao menu principal ou 2 para simular investimento: 2

=== GRAVIDADES DOS RIOS ===
1. Amazonas (Itacoatiara): 38.11%
2. Solimões (Manacapuru): 85.37%
3. Amazonas (Paritins): 79.15%
4. Negro (Manaus): 10.57%
Insira o valor destinado aos investimentos: R$ 7200

Saldo disponível: R$ 7200.00
=== Selecione uma opção ===
[1] Alocar recursos
[2] Adicionar saldo
[3] Acessar porcentagens
[4] Voltar ao menu
Sua escolha: 1

Para qual rio deseja alocar recursos? (1-4):
1 - Amazonas (Itacoatiara)
2 - Solimões (Manacapuru)
3 - Amazonas (Paritins)
4 - Negro (Manaus)
Sua escolha: 4

Porcentagem do saldo destinada à ARBORIZAÇÃO das vias públicas (%) do Rio Negro (Manaus): 100
:
=== GRAVIDADES DOS RIOS ===
1. Amazonas (Itacoatiara): 38.11%
2. Solimões (Manacapuru): 85.37%
3. Amazonas (Paritins): 79.15%
4. Negro (Manaus): 9.07%

=== Deseja continuar? ===
[1] Sim
[0] Não
Sua escolha: 1

Saldo disponível: R$ 0.00
=== Selecione uma opção ===
[1] Alocar recursos
[2] Adicionar saldo
[3] Acessar porcentagens
[4] Voltar ao menu
Sua escolha:

```

Figura 5: 2º Run I/O do Teste 1, contendo a simulação de investimento

Nesse primeiro teste, o foco foi validar o controle de acesso e a integração entre a previsão de enchentes e a simulação financeira. O código inicia solicitando as credenciais de acesso. Durante essa etapa, foram inseridos nomes e senhas incorretos para testar a segurança, e o sistema bloqueou a entrada conforme esperado, permitindo o acesso apenas com as credenciais válidas (“nome certo” e “senha certa”).

Após obter sucesso no login, selecionou-se a consulta de previsão para o primeiro trimestre. O sistema realizou os cálculos de risco e acionou corretamente o bitmap para a visualização gráfica dos alertas. Ao final da consulta, o sistema ofereceu a opção de realizar uma simulação financeira, a qual foi selecionada.

Para testar a lógica de investimento, inseriu-se um saldo inicial de R\$ 7.200,00. Em seguida, obteve-se por alocar 100% desse saldo na infraestrutura do Rio Negro. O sistema processou a entrada em ponto flutuante corretamente, calculou o impacto do valor investido e confirmou a redução de 1,5% no índice de gravidade do rio.

3.2 Teste 2

```
=====» MENU «=====
»Selecione o que deseja fazer:
»1 - Consultar previsões
»2 - Adicionar novas informações
»3 - Sair do sistema
Sua escolha: 2

»Escolha que tipo de informação deseja incluir à base de dados:
1 - Precipitação por trimestre
2 - Cota fluvial
3 - Porcentagem de infraestrutura
4 - Voltar ao menu
Sua escolha: 3

»A qual cidade você deseja alterar o dado?
1 - Itacoatiara
2 - Manacapuru
3 - Parintins
4 - Manaus
Sua escolha: 2

»Deseja atualizar:
1 - Urbanização
2 - Arborização
3 - Esgotamento
Sua escolha: 3

»Digite o novo valor:
70

[SUCESSO] Dado atualizado no arquivo dados.bin!
»Digite 1 para voltar ao menu principal: 1
```

Figura 6: 1º Run I/O do Teste 2

```
=====» MENU «=====
»Selecione o que deseja fazer:
»1 - Consultar previsões
»2 - Adicionar novas informações
»3 - Sair do sistema
Sua escolha: 1

»Escolha um trimestre de 2026:
1 - Dezembro a Fevereiro      2 - Março a Maio      3 - Junho a Agosto      4 - Setembro a Novembro
Sua escolha: 1

[TESTE] Status (0=Alerta, 1=Normal) - Itac/Manac/Parin/Manaus: 0 1 0 0
[TESTE] Porcentagem Excedente (%) - Itac/Manac/Parin/Manaus: 38.11 0.0 79.15 10.57

» Digite 1 para voltar ao menu principal ou 2 para simular investimento:
```

Figura 7: 2º Run I/O do Teste 2



Figura 8: Bitmap do Teste 2 após consulta do primeiro trimestre com valor alterado

Neste segundo teste, o objetivo foi validar a funcionalidade de persistência e edição de dados do sistema, demonstrando a capacidade de atualizar o “banco de dados” e refletir essas mudanças nas previsões subsequentes.

Inicialmente, acessou-se o menu de adição de informações e selecionou-se a cidade de Manacapuru. O dado de infraestrutura referente ao esgotamento sanitário, que originalmente era de 12.71% foi alterado para 70.00%. Essa alteração foi estratégica, visando elevar a capacidade de drenagem da cidade para um nível onde o risco de enchente fosse mitigado.

Após a confirmação da atualização, retornou-se ao menu principal e realizou-se uma nova consulta de previsão para o mesmo trimestre. O sistema recalculou os riscos utilizando o novo valor gravado no arquivo binário. Como resultado esperado, o status de Manacapuru (representado por II no bitmap) alterou-se de “Alerta” (Vermelho) para “Normal” (Branco), e a porcentagem excedente foi zerada, comprovando a eficácia da atualização dos parâmetros de cálculo.

4 Planejamento e cronograma de execução

Guilherme Miguel Spyrides Leite Ferro:

- Criação do banco de dados;
- Interligação de todo o sistema com o banco de dados;
- Elaboração, com base na implementação secundária, e implementação final do cálculo para atualização da gravidade dos rios após alocação de recursos;
- Melhorias no simulador de investimentos.

Karen Rodrigues de Melo:

- Criação da parte de prevenção e simulação de investimentos: interface e manipulação de dados;
- Pesquisa de âmbitos que devem receber investimentos para que haja prevenção das enchentes;
- Elaboração e implementação inicial do cálculo para atualização da gravidade dos rios após alocação de recursos.

Luiza Dugois Silva Alves:

- Pesquisa dos dados utilizados no banco de dados;
- Criação da interface inicial do sistema e menu principal, com a interligação entre as funções;
- Elaboração e implementação inicial do cálculo do nível do rio;
- Elaboração, com base na implementação inicial, e implementação secundária do cálculo para atualização da gravidade dos rios após alocação de recursos;

Maria Clara Freire Araújo:

- Pesquisa acerca da disposição das cidades escolhidas e de seus principais rios;
- Elaboração e criação do Bitmap;

5 Conclusão

O Norte do Brasil é fadado ao clima equatorial úmido e dotado por uma bacia hidrográfica extensa. Devido às suas condições naturais, negligenciadas pela administração pública, principalmente quanto à adaptação das cidades para enfrentamento da problemática, os cidadãos são, constantemente, vítimas das enchentes locais. Embora haja sistemas de previsão e alerta desenvolvidos por determinados órgãos governamentais e instituições de pesquisa, há uma lacuna referente a ferramentas que auxiliem a prevenção ativa e a alocação de recursos para que eventos como a cheia ocorrida no Amazonas, em 2025, em que 530 mil pessoas e mais da metade do Amazonas foram afetadas [2], cessem de ocorrer.

Portanto, visando assumir o preenchimento desse vazio com relação à atuação contra o problema, o presente trabalho propôs o desenvolvimento de um sistema computacional, implementado na linguagem computacional Assembly, que não somente prevê a ocorrência de enchentes, como também simula a alocação de investimento público em setores de infraestrutura essenciais para a redução dos impactos causados por esses eventos.

O sistema implementado integra as seguintes funcionalidades principais:

1. Previsão de enchentes.

Baseado em dados reais das cotas dos rios, precipitação trimesstral e indicadores de infraestrutura atual (arborização, urbanização e saneamento), no algoritmo desenvolvido, é calculado o nível estimado dos rios e é emitido alertas visuais, exibidos em um bitmap.

2. Banco de dados.

Com a utilização de um arquivo binário gerado com o auxílio da linguagem Python, foram armazenados dados climáticos e urbanos.

3. Simulação de investimentos.

O usuário é livre para simular, de modo personalizado, a alocação de recursos financeiros em três setores de infraestrutura (arborização, urbanização e saneamento), calculando, em tempo real, a redução no risco de enchentes a depender dos valores investidos. É válido reiterar que a precificação dos serviços essenciais para investimento tendem a serem distintos conforme a localização geográfica do usuário. Assim, para cada região, a precificação pode ser facilmente adaptada no corpo do algoritmo.

4. Interface visual (Bitmap).

Os estados de alerta ou não alerta das cidades contempladas são graficamente representados dado o desenvolvimento de um Bitmap minuciosamente detalhado, que representa a região de interesse do projeto. Ao mapa, está conec-

tada a simulação de investimentos, para que a simulação de suas aplicações nos setores mencionados sejam distribuídos eficientemente.

5. Módulos de segurança.

Finalmente, houve a inclusão de controle por acesso pessoal (login), com validação de entrada (usuário) e senha. Com isso, é fornecido confiabilidade quanto aos dados armazenados no banco de dados para os corpos públicos que os utilizarão.

Analisando os resultados obtidos com as funcionalidades do programa, pode-se concluir que ele funcionou exatamente como o esperado para os dados usados como entrada, ou seja, ele verificou as informações de login, calculou a previsão e mostrou as cidades que estão em estado de alerta para aquele trimestre. Ademais, permitiu alterações sobre os resultados calculados, para simular corretamente os impactos das ações preventivas de investimento sobre o volume dos rios. Todavia, apesar de estarem corretos para os dados apresentados, alguns cálculos apresentaram resultados que diferem da realidade, por algumas limitações do projeto.

As principais limitações do sistema se encontram no âmbito da falta de informações. A fim de melhorar a corretude e a confiabilidade dos cálculos realizados pelo sistema, seria necessária uma atualização síncrona dos níveis atuais de cada rio no lugar do valor médio calculado. Além disso, os dados de infraestrutura de cada cidade, utilizados como base no desenvolvimento das contas, são referentes às realidades passadas daqueles municípios, atualizadas, pela última vez, no melhor caso, em 2022 [13, 14, 15, 16], fazendo-se necessárias novas estimativas dessas porcentagens para o período atual e períodos futuros. Com relação ao simulador de investimentos para a prevenção, esse também possuiu limitações quanto à estimativa de custo real para aumentos na porcentagem de cada tipo de infraestrutura, não permitindo uma simulação que se aproximasse do cenário real, apenas hipotético.

Felizmente, as limitações enfrentadas podem ser facilmente resolvidas por uma conexão do sistema a bases de dados governamentais, com atualizações síncronas. Essa interligação poderia permitir, também, a expansão do sistema para os outros 58 municípios do Amazonas.

Ademais, se mais tempo fosse conferido ao aprimoramento do projeto no futuro, com as ferramentas até então disponíveis, poderia ser integrado ao sistema de previsão e prevenção e ao Bitmap um gráfico de barras que mostrasse à autoridade, de acordo com o risco de enchente de cada cidade, a proporção em que cada aspecto estrutural está influenciando esse fenômeno, de modo a direcionar as ações do usuário para melhorias na infraestrutura com maiores proporções de impacto.

Referências

- [1] “Enchentes.” <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/e/enchentes#:~:text=Mudan%C3%A7as%20clim%C3%A1ticas%20e%20aumentado%20do,esses%20problemas%2C%20intensificando%20as%20chuvas.&text=%C3%89%20o%20ac%C3%BAmulo%20de%20%C3%A1gua,per%C3%ADmetros%20urbanos%20em%20pontos%20isolados.&text=%C3%89%20quando%20a%20%C3%A1gua%20de,pr%C3%B3ximas%2C%20como%20plan%C3%ADcies%20ou%20v%C3%A1rzeas>. Acessado em: 06 dez. 2025.
- [2] g1, “Cheia de 2025 afeta 530 mil pessoas e deixa mais da metade do Amazonas em emergência; veja antes e depois.” <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2025/07/05/cheia-de-2025-afeta-530-mil-pessoas-e-deixa-mais-da-metade-do-amazonas-em-emergencia-veja-antes-e-depois.ghtml>. Acessado em: 04 dez. 2025.
- [3] D. C. do Amazonas, “Página oficial da defesa civil do estado do Amazonas.” <https://www.defesacivil.am.gov.br/>. Acessado em: 04 dez. 2025.
- [4] “Nova tecnologia aumenta segurança da população na região norte.” <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/nova-tecnologia-aumenta-seguranca-da-populacao-na-regiao-norte>. Acessado em: 05 dez. 2025.
- [5] “Prevenção de desastres.” <https://www.sgb.gov.br/prevencao-de-desastres>. Acessado em: 25 Nov. 2025.
- [6] M. da Integração e do Desenvolvimento Regional (MDR), “Pnpdc — plano nacional de proteção e defesa civil (2025 - 2035).” https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/20251124_PNPDC2.pdf, 2025. Acessado em: 06 dez. 2025.
- [7] “Lançamento do aplicativo e disciplina eletiva “dados à prova d’Água” destaca o engajamento de comunidades e escolas na resiliência a inundações.” <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/lancamento-do-aplicativo-e-disciplina-eletiva-201cdados-a-prova-d2019agua201d-destaca-o-engajamento-de-comunidades-e-escolas-na-resiliencia-a-inundacoes>. Acessado em: 06 Dez. 2025.
- [8] S. G. do Brasil (SGB), “20º boletim hidrológico da bacia do Amazonas.” https://www.google.com/search?q=333+mm+por+m%C3%AAs+%C3%A9+muita+chuva&sca_esv=4d0c9b7f74717d86&ei=zHM0ae_wD5Hd1sQPjsCB-QM&ved=0ahUKEwjvhr7fyamRAxWRrpUCHQ5gID8Q4dUDCBE&uact=5&oq=333+mm+por+m%C3%AAs+%C3%A9+muita+chuva&gs_lp=Egxnd3Mtd2l6LXNlcAiHjMzMyBtbS

Bwb3IgbC0qcyDDqSBtdWl0YSBjaHV2YTIfeCEY0AEyBRAhGKABmgUQIRifBTIF
 ECEYnwUyBRAhGJ8FMgUQIRifBTIFeCEYnwUyBRAhGJ8FMgUQIRifBTIFeCEYnw
 VI9kRQAFjmQ3ADeAGQAQCYAeIBoAG5JaoBBjAuMjYuNLgBA8gBAPgBAZgCIaAC
 3yjCagUQABiABMICCxAAGIAEGLEDGIMBwgIIEC4YgAQYsQPCaggQABiABBixA8
 ICDhAAGIAEGLEDGIoFGIOGwgINEAAYgAQYsQMYQxiKBcICChAAGIAEGEMYigXC
 AgsQLhiABBixAxiDAcICBBAAGAPCag4QABiABBixAxiDARiKBcICBRAuGIAEwg
 IUEC4YgAQYlwUY3AQY3gQY4ATYAQHCAgcQABiABBgTwgIIEAAYExgWGB7CAgYQ
 ABgWGB7CaggQABiABBiiBMICBRAAG08FmAMAugYGCAEQARgUkgcGMy4yNS41oA
 fcjAGyBwYwLjI1LjW4B8oowgcJMC4yLjE3LjE0yAeaAoAIAA&sclient=gws-w
 iz-serp, 2024. Acessado em: 01 dez. 2025.

- [9] climatempo, “Climatologia em itacoatiara, br.” <https://www.climatempo.com.br/climatologia/20/itacoatiara-am>. Acessado em: 04 Dez. 2025.
- [10] climatempo, “Climatologia em manacapuru, br.” <https://www.climatempo.com.br/climatologia/24/manacapuru-am>. Acessado em: 04 Dez. 2025.
- [11] climatempo, “Climatologia em parintins, br.” <https://www.climatempo.com.br/climatologia/31/parintins-am>. Acessado em: 04 Dez. 2025.
- [12] climatempo, “Climatologia em manaus, br.” <https://www.climatempo.com.br/climatologia/25/manaus-am>. Acessado em: 04 Dez. 2025.
- [13] “Ibge - itacoatiara.” <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/itacoatiara/panorama>. Acessado em: 04 Dez. 2025.
- [14] “Ibge - manacapuru.” <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manacapuru/panorama>. Acessado em: 04 Dez. 2025.
- [15] “Ibge - parintins.” <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/parintins/panorama>. Acessado em: 04 Dez. 2025.
- [16] “Ibge - manaus.” <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manaus/panorama>. Acessado em: 04 Dez. 2025.
- [17] MongoDB, “What is data persistence?.” <https://www.mongodb.com/resources/basics/databases/data-persistence>. Acessado em: 09 Dez. 2025.
- [18] U. G. de Projetos Especiais, “Prosai parintins: Sistema de esgotamento sanitário beneficiará mais de 12 mil moradores.” <https://www.ugpe.am.gov.br/prosai-parintins-sistema-de-egotamento-sanitario-beneficiara-mais-de-12-mil-moradores/>. Acessado em: 08 Dez. 2025.

- [19] U. G. de Projetos Especiais, “Áreas verdes: Prosai parintins vai proporcionar reflorestamento na cidade.” <https://www.ugpe.am.gov.br/areas-verde-s-prosai-parintins-vai-proporcionar-reflorestamento-na-cidade/>. Acessado em: 08 Dez. 2025.
- [20] KCtops6, “Drawing lines on the bitmap display in mips — horizontal vertical rendering.” https://youtu.be/m6n9RDUYRPM?si=IZc_mZD8v50sxvh0. Acessado em: 06 Dez. 2025.
- [21] Google, “Mapa de uma porção da região amazônica.” <https://www.google.com/maps/place/Parintins+-+AM/@-2.7875979,-56.9091303,9>. Acessado em: 04 Dez. 2025.
- [22] G. Brasil, “Infraestrutura verde, cinza e azul: Soluções integradas para a gestão hídrica.” <https://www.gbcbrasil.org.br/infraestrutura-verde-cinza-e-azul-solucoes-integradas-para-a-gestao-hidrica/>. Acessado em: 10 Dez. 2025.
- [23] Scielo, “Efeitos da arborização urbana na redução do escoamento pluvial superficial e no atraso do pico de vazão.” <https://www.scielo.br/j/cflo/a/KjNPhGfyFsnLfLmTnV8rV9j/?lang=pt>. Acessado em: 10 Dez. 2025.
- [24] B. da BRK Ambiental, “Galeria de águas pluviais e rede de esgoto: confira os problemas da ligação entre elas.” <https://blog.brkambiental.com.br/galerias-pluviais-e-rede-de-esgoto/>. Acessado em: 9 Dez. 2025.