



**UNIVERSIDADE  
FEDERAL RURAL  
DE PERNAMBUCO**



Igor de Melo Laurentino Gomes

**Alagamentos e Inundações -  
Uso de visualização geométrica para análise de risco  
associados ao volume de chuva e altura das marés na  
cidade do Recife**

**Recife**

Junho de 2022

Igor de Melo Laurentino Gomes

**Alagamentos e Inundações -  
Uso de visualização geométrica para análise de risco  
associados ao volume de chuva e altura das marés na  
cidade do Recife**

Artigo apresentado ao Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE  
Departamento de Estatística e Informática  
Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação

**Orientadores: Silvana Bocanegra; Jones Albuquerque**

Recife  
Junho de 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- G633a Gomes, Igor de Melo Laurentino  
Alagamentos e Inundações - Uso de visualização geométrica para análise de risco associados ao volume de chuva e altura das marés na cidade do Recife / Igor de Melo Laurentino Gomes. - 2022.  
14 f. : il.
- Orientadora: Silvana Bocanegra.  
Coorientador: Jones Oliveira de Albuquerque.  
Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Sistemas da Informação, Recife, 2022.
1. Diagramas de risco. 2. Chuvas. 3. Alagamentos. 4. Inundações. 5. Recife. I. Bocanegra, Silvana, orient. II. Albuquerque, Jones Oliveira de, coorient. III. Título

Igor de Melo Laurentino Gomes

**Alagamentos e Inundações -  
Uso de visualização geométrica para análise de risco  
associados ao volume de chuva e altura das marés na  
cidade do Recife**

Artigo apresentado ao Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovado em: 06 de Junho de 2022

BANCA EXAMINADORA:

Silvana Bocanegra

Departamento de Estatística e Informática  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Jones Oliveira de Albuquerque

Departamento de Estatística e Informática  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Coronel Lamartine Barbosa

Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco

Alisson Dantas de Oliveira

Universitat Politècnica de Catalunya

# Alagamentos e Inundações - Uso de visualização geométrica para análise de risco associados ao volume de chuva e altura das marés na cidade do Recife

Igor de Melo Laurentino Gomes <sup>1</sup>, Silvana Bocanegra <sup>2</sup>, Jones Oliveira de Albuquerque <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Estatística e Informática – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, - CEP: 52171-900 – Recife – PE – Brasil

[igor.mlgomes@ufrpe.br]

**Resumo.** *Este trabalho tem por finalidade apresentar um modelo de diagrama de risco relacionado à ocorrência de enchentes e alagamentos na cidade do Recife. Artefatos visuais que podem ser utilizados como fonte de informação e apoio à tomada de decisões, prevenção de desastres e ações pontuais de mitigação de efeitos colaterais provocados por eventos adversos relacionados às chuvas são os resultados esperados para este artigo. Para atingir o objetivo principal, foi utilizado o modelo de cálculo de risco para a propagação da COVID-19 elaborado pelo IRRD em parceria com a Universidade Politécnica da Catalunya, que foi adaptado para a temática climatológica. Os resultados apresentados foram coletados em um dia de grande precipitação de chuva na região metropolitana do Recife, o que colaborou para a captura de evidências de que o modelo proposto é de fato aplicável.*

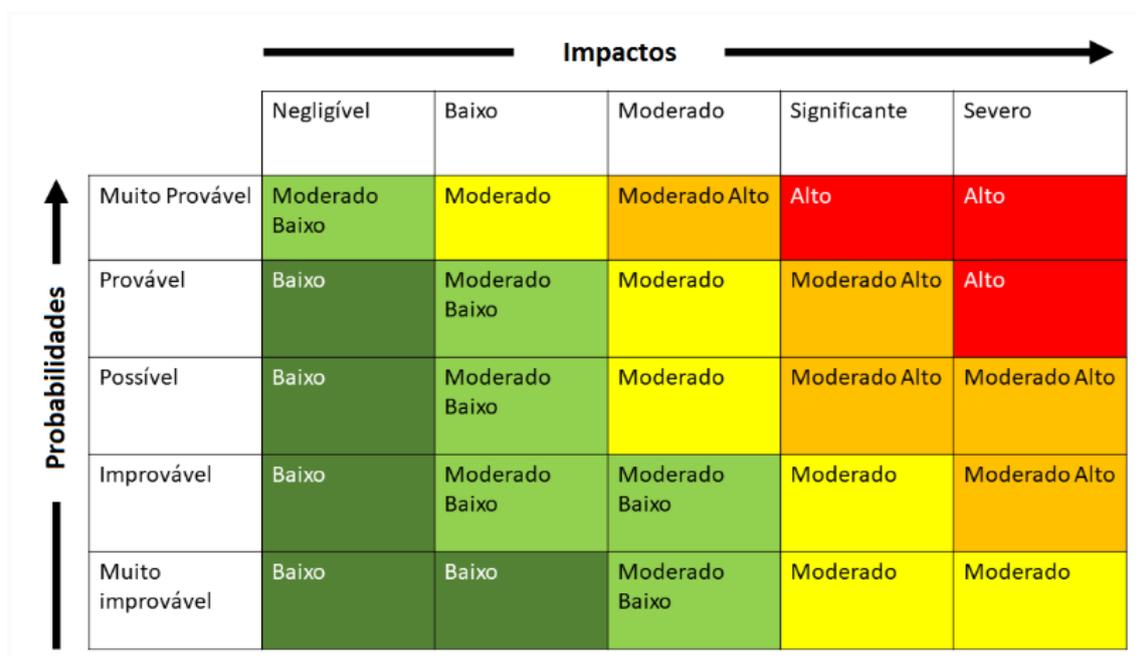
**Abstract.** *The purpose of this paper is to present a model of a risk diagram related to the occurrence of floods in the city of Recife. Visual artifacts that could be used as information sources and support decisions, disaster prevention and specific actions to mitigate adverse effects caused by rains are the expected results of this paper. To achieve the main goal, the calculating model for COVID-19 propagation risk created by IRRD in association with the Polytechnic University of Catalunya was adapted to the climatology's theme. The presented results were collected in a day with big rain precipitation in the metropolitan region of Recife, and this was good for evidence capture and to prove the proposed model is applicable indeed.*

## 1. Introdução

De acordo com [Goerlandt and Reniers 2016], os diagramas de risco são amplamente utilizados para analisar, avaliar e visualizar riscos em diversas indústrias. O modelo desenvolvido por [Català et al. 2020] (Universidade Politécnica da Catalunya) relacionado a representação gráfica da propagação da COVID-19 é um exemplo de como os diagramas de risco podem ser utilizados para prover informações sobre temas muito importantes, sendo a principal referência para a construção deste trabalho.

Os principais benefícios atribuídos aos diagramas de risco são sua aparência intuitiva e simplicidade, eles são tidos como de fácil construção, explicação e pontuação

[Thomas et al., (2014) *apud* Goerlandt e Reniers (2016)]. Portanto, entende-se que tais ferramentas não dispendem elevado esforço para sua concepção e são de fácil leitura e compreensão por grande parte da população, podendo assim ser um importante veículo de informação para as massas de custo relativamente baixo.



**Figura 1. Diagrama de risco de efeitos adversos. APAC (2022). Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/113-sobre-meteorologia/617-niveis-de-avisos> <https://www.apac.pe.gov.br/113-sobre-meteorologia/617-niveis-de-avisos>. Acessado em 26/05/2022.**

Na Figura 1, vemos um diagrama de risco desenvolvido pela APAC que demonstra a probabilidade e severidade de efeitos adversos relacionados às chuvas de acordo com o risco apontado pelo volume de chuva acumulada. O diagrama proposto por este estudo tem formato semelhante, contudo considera a altura da maré para o cálculo, além do volume de chuva.

O objetivo deste trabalho é fornecer um modelo prático para a mensuração de riscos baseado no índice acumulado de precipitação de chuvas em acordo com a influência da altura das marés e obter as representações visuais de tais riscos no formato de diagrama. Sendo assim, pode-se dizer que os cálculos de risco contidos neste trabalho são de maior proveito para as regiões costeiras, que sofrem diretamente com a ação marítima, regiões próximas às margens de rios, riachos e manguezais, bem como suas planícies e várzeas e sua foz, e regiões urbanas próximas a canais de escoamento.

O modelo elaborado neste estudo é baseado na metodologia utilizada pelo IRRD para a representação do risco de propagação da COVID-19. O IRRD (Instituto para Redução de Riscos e Desastres de Pernambuco) é uma iniciativa formada pela parceria entre o GEOSERE-UFRPE e o LIKA-UFPE, e seu intuito é atuar no auxílio a prevenção de desastres de variados temas, tais como: epidemias, desastres naturais, trânsito, clima, entre outros.

Anualmente, podem-se observar diversos transtornos que são provocados pelo alto

volume de precipitação de chuvas em determinadas épocas do ano, que podem causar prejuízos financeiros, doenças transmissíveis por água contaminada e em circunstâncias extremas inclusive mortes. Diversos fatores podem contribuir para a ocorrência dos eventos citados: crescimento urbanístico desordenado, rede de drenagem ineficaz ou ineficiente, poluição. Entretanto, para este trabalho, consideram-se a intensidade das chuvas medida pelo índice de precipitação acumulada e a influência que tem a altura das marés neste processo.

No caso da cidade do Recife, os problemas causados pelas chuvas são recorrentes há muitas décadas. No ano de 1975, uma grande inundação provocada pela cheia do rio Capibaribe tomou conta de 80% do território do município, causando 104 mortes e deixando um número aproximado de 350 mil pessoas desabrigadas [Vieira 2015].

É importante salientar que por meio da criação de diagramas de risco baseados em dados de índice pluviométrico e altura das marés, a informação gerada tem por prioridade três finalidades:

1. Auxiliar a população em geral, pois é um material visual que traduz os dados pluviométricos de uma região em informação útil para a tomada de decisões a fim de evitar ou minimizar possíveis riscos para sua saúde, segurança e para o seu patrimônio.
2. Servir de apoio à tomada de decisão e planejamento de ações emergenciais por parte dos órgãos da sociedade civil, responsáveis pelo manejo e cuidado com a segurança do cidadão, tais como: defesa civil, prefeitura, secretaria de urbanismo, entre outros, que podem prover soluções imediatas para quaisquer problemas ocorridos.
3. Ser utilizado por órgãos públicos que, entre outras coisas, estão envolvidos nos assuntos relacionados a climatologia, hidrologia, ou engenharia civil como: agências de clima, agências de águas estaduais, capitânicas dos portos, institutos de meteorologia e previsão do tempo.

## **2. Trabalhos Relacionados**

Sobre as definições dos eventos que podem ocorrer em decorrência de fortes chuvas, há algumas diferenças as quais vale à pena salientar. Segundo a Defesa Civil de São Bernardo do Campo [2015, *apud* [Licco and Dowell 2015]], inundação é o evento em que ocorre transbordamento em um determinado curso d'água, e que atinge a planície de inundação ou a área de várzea. Já as enchentes, também conhecidas como cheias, podem ser descritas como um aumento no nível de água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, alcançando o limite do nível do canal, porém, sem extravasar. E alagamento é a formação de regiões de acúmulo de águas em áreas que sofrem com algum nível de deficiência no sistema de drenagem. Observa-se que os conceitos embora similares representam eventos distintos, deve-se atentar para a utilização de cada um de maneira correta.

É analisada a influência que a maré exerce nas regiões costeiras e seus possíveis impactos para a geomorfologia do local. O relevo da região e a sua batimetria podem influenciar diretamente nas alturas alcançadas pelas ondas [Araújo et al. 2008] e os efeitos da altura da maré podem ser devastadores a depender da combinação de fatores geomorfológicos, marítimos e climáticos. Supõe-se então que as áreas costeiras que desenvolveram um crescimento urbanístico descontrolado tendem a sofrer mais com a ação natural

das marés, o que justifica um maior esforço no que diz respeito ao correto planejamento das ocupações dessas áreas.

Para [Farias 2019] a principal causa de prejuízos econômicos, sociais e ambientais relacionados à alagamentos e inundações está associada à ocupação desordenada, sem fiscalização, orientação e planejamento, das regiões de encostas, das planícies de inundação e várzeas dos principais cursos d'água que cortam os municípios brasileiros. Tais eventos, inclusive, podem custar vidas humanas o que colabora com a ideia de que a abordagem deste tema e das resoluções nele contidas podem ser de grande valor na avaliação dos possíveis impactos sócio-econômicos que tais eventos adversos podem causar.

De acordo com [Santos and Carvalho 2021]:

*O conhecimento da distribuição espacial e temporal das ocorrências de enchentes e alagamentos e a identificação dos bairros são essenciais para a formação de uma comunidade mais resiliente. São necessárias ações e políticas públicas de gestão do uso e ocupação do solo, a fim de prevenir ou minimizar os danos decorrentes dos eventos extremos de precipitação(...).*

Entende-se então que é importante para a sociedade se munir de informações a respeito dos eventos adversos que ocorrem na região, além da necessidade de haver a preocupação por parte dos governos em tomar medidas apropriadas para solucionar e minimizar os impactos causados por desastres ambientais, bem com trabalhar efetivamente para prevenir que tais eventos ocorram.

Para estimar as cheias e por consequência ter uma forma de gerir-las a fim de evitar ou minimizar os possíveis prejuízos que podem ocorrer, são feitas análises de frequência seguindo distribuições tradicionais de cheias estacionárias ou não estacionárias. Contabilizam-se as mudanças nos extremos de cheias, clima e escala, e daí tem-se as informações necessárias para realizar tal estimativa [Sofia and Nikolopoulos 2020]. Ainda segundo os autores, os seres humanos, devido aos seus aspectos sociais como o crescimento populacional e a economia, tem participação na complexidade do sistema fluvial pois a relação com a água é condição fundamental para a sua existência, e por serem os seres vivos que mais ativamente modificam a natureza em seus aspectos atmosféricos, hidrológicos e geomorfológicos.

Já de acordo com [Tucci 2005], para fazer a estimativa de cheia em tempo real são necessários um sistema de coleta e transmissão de dados e uma metodologia de previsão. Além disso, o autor cita que há 4 maneiras de realizar a previsão de níveis de enchente:

1. Precipitação prevista
2. Precipitação conhecida
3. Vazão de montante
4. Combinação das duas últimas

A base metodológica utilizada neste trabalho considera os dados pluviométricos conhecidos, pois assim "(...) *é possível estimar a vazão e o nível por modelo matemático que simule a transformação de precipitação em vazão.*" [Tucci 2005]. Para alcançar os objetivos propostos para este estudo, os dados considerados são o acumulado de precipitação de chuvas medido em milímetros e os níveis de altura das marés.

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Dados

Os dados pluviométricos são provenientes da plataforma online da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima). Esse órgão é responsável pelo monitoramento climatológico do estado de Pernambuco, como também é o principal veículo governamental para advertir aos cidadãos sobre os riscos causados pelas chuvas no estado.

Os dados das tábuas de marés foram coletados da plataforma oficial do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos), que faz parte do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), que é um órgão federal especializado em estudos climáticos e previsões meteorológicas.

O grão escolhido para este trabalho foi a **hora**, pois assim é possível visualizar gradativamente a evolução do risco de enchente ou alagamento ao longo do dia. Nos diagramas, o risco de alagamento específico para cada hora do dia é representado por um ponto. Considerando-se uma hora **X** como sendo a hora atual, dentro da janela de tempo dessa hora, que vai do minuto *X:00* até *X:59*, cada vez que um determinado gráfico for acessado um novo cálculo será feito, considerando-se os acumulados de chuva referentes ao momento do acesso, e assim o ponto atual será devidamente calculado e mostrado no diagrama. Passada a janela de tempo da hora **X**, ao começar uma nova hora **Y**, o diagrama registrará o ponto referente à hora anterior baseado no cálculo feito com os dados do último registro pluviométrico possível (informado pela APAC), e a altura de maré relativa a este horário. Então o ciclo se repetirá até a última hora do dia, e reiniciará na primeira hora do dia seguinte.

#### 3.2. Índices de volume pluviométrico - VP

A APAC utiliza alguns critérios para a emissão de avisos meteorológicos, que são utilizados para o cálculo de risco deste trabalho. De acordo com a agência, um volume de chuvas de até 30mm acumulados em 3 horas representa um risco baixo, até 50mm representa um risco de moderado à forte, e próximo ou acima de 100mm representa um risco alto. Esta informação pode ser observada pelos esquemas fornecidos pela própria agência, como visto na Figura 2:



**Figura 2. Níveis de alerta para avisos meteorológicos. APAC (2022). Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/113-sobre-meteorologia/617-niveis-de-avisos>. Acessado em 26/05/2022)**

Os dados são obtidos na plataforma de acompanhamento das chuvas em tempo real da APAC (2022)<sup>1</sup>, que provê dados pluviométricos para todas as regiões do estado de Pernambuco que possuem estações de monitoramento de chuvas. Consideram-se para este trabalho os dados das estações da cidade do Recife de áreas próximas à costa ou dos rios e canais que cortam o município. O índice pluviométrico (P) é calculado através da soma do volume obtido em 2 horas de chuva e o volume de chuva previsto para a hora do acesso, calculado pelo volume de chuva nos últimos 15 minutos dividido por 0.25 (¼ de hora):

$$VP = \frac{V15Minutos}{0.25} + V2Horas.$$

### 3.3. Índice de altura das marés - AM

A altura da maré é um fator que influencia no risco de alagamentos, enchentes e inundações em regiões costeiras, planícies ou várzeas de rios.

Observa-se que nos períodos de preia-mar, a probabilidade de que ocorram eventos adversos relacionados às chuvas é maior, pois os sistemas de drenagem são comprometidos, prejudicando ou até mesmo impossibilitando o escoamento das águas pluviais.

Os dados das alturas da maré são obtidos na plataforma *online* do CPTEC<sup>2</sup>. A plataforma provê a hora prevista para cada pico de maré alta e baixa do dia, em intervalos de aproximadamente 6 horas.

A obtenção do índice de altura das marés (AM) é dada pelo cálculo da diferença entre dois picos de marés (I1 - I2) dividido por seis mais o valor da primeira maré do dia (I1), dessa forma obtemos uma estimativa para a altura da maré para todos os horários do dia em questão:

$$AM = \frac{I1 - I2}{6} + I1.$$

<sup>1</sup>Acompanhamento das chuvas em tempo real. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/chuvas-rmr.php>. Acessado em 26/05/2022

<sup>2</sup>Tábua de marés. Disponível em: <http://ondas.cptec.inpe.br/~rondas/mares/index.php?cod=30645&mes=05&ano=22>. Acessado em 26/05/2022

### 3.4. Índice de Risco de Alagamento - RA

O índice para a representação do risco de alagamento é calculado pela multiplicação do volume de chuva (VP) pelo índice da altura da maré (AM), assim fazendo a relação entre os dois índices. Em comparação com o modelo que calcula o risco de propagação da COVID-19 do IRRD, o RA é a representação do EPG (índice de crescimento potencial), que é utilizado para calcular o ponto do evento a ser mostrado no diagrama.

Quanto maior é o valor de cada índice (VP e AM), maior é o risco de que sejam formados pontos de alagamentos ou que hajam enchentes nos leitos dos rios ou canais de escoamento.

A concepção do cálculo, bem como a escolha dos índices utilizados, é o resultado das pesquisas acerca da temática, e todos os valores e índices utilizados baseiam-se no que dizem as instituições e autoridades competentes de cada área envolvida. Todos os valores são provenientes de artigos e plataformas *online* das respectivas instituições.

O formato que se mostrou mais promissor para o cálculo do índice de risco de alagamento é representado da seguinte maneira:

$$RA = VP \times AM.$$

### 3.5. O código de geração dos diagramas

A criação dos diagramas de risco é feita por meio da execução de um script escrito na linguagem de programação Python. Esse código está disponível para acesso, uso, alteração e reprodução em um repositório<sup>3</sup> da plataforma Github® sob uma licença MIT.

Para os devidos fins deste trabalho, fez-se necessária a realização de algumas alterações no código atual. Alterações essas que também ficarão disponíveis no mesmo repositório após sua devida revisão e aprovação.

Foram criados alguns métodos auxiliares para o cálculo da altura das marés para todos os horários do dia, uma vez que a plataforma de onde os dados são coletados apenas disponibiliza os valores correspondentes aos picos, tanto altos quanto baixos.

Da mesma forma, também foi necessário criar um método para realizar o cálculo do volume de precipitação de chuva para hora atual (a hora em que o usuário acessa o gráfico), já que na plataforma onde é feita a coleta dos dados, a opção que provê o valor mais aproximado ao tempo real aponta para o volume acumulado nos últimos quinze minutos. Para obter tal valor, pode-se realizar o seguinte cálculo:

$$\text{Volume de Chuva em 1 hora} = \frac{\text{Volume de Chuva em 15 minutos}}{0.25}.$$

O *input* dos dados é feito, por ora, de forma manual, bem como a execução dos cálculos preliminares para a obtenção dos índices, e a própria execução do script que cria os diagramas de risco.

---

<sup>3</sup>Repositório riskdiagrams-covid19. Disponível em: <https://github.com/allissondantas/riskdiagrams-covid19>. Acessado em 10/05/2022

### 3.6. Diagrama de risco

Para a geração das representações gráficas dos índices supracitados foi utilizado como base o código escrito na linguagem Python desenvolvido pela equipe do IRRD para os diagramas de risco da COVID-19 com as adaptações necessárias para a temática.

No eixo vertical do diagrama temos os valores para a altura da maré, e no eixo horizontal temos os valores para o volume de precipitação acumulado. Ao efetuar o cálculo para obtenção do risco de alagamento temos o ponto exato que representa este risco no diagrama.

O diagrama construído possui três regiões, nas cores verde, amarela e vermelha, sendo a primeira a representação da área de baixo risco, a segunda a região de risco moderado e a terceira a região de risco alto. A representação deste diagrama pode ser vista na seção 4.

A definição das áreas de risco se dá pela seguinte forma:

**Tabela 1. Níveis de risco de alagamento**

Índice	Risco
$RA < 30$	Baixo
$30 < RA < 50$	Moderado
$50 < RA < 100$	Moderado Alto
$RA > 100$	Alto

A cada hora do dia um novo ponto é adicionado ao diagrama representando o risco da hora que passou, e além disso um ponto azul sólido é adicionado representando o risco no horário do acesso. Os RAs do primeiro ponto do dia e do atual são mostrados no diagrama para auxiliar no entendimento da evolução. Por sua vez, no diagrama de risco de propagação da COVID-19 do IRRD, os pontos representam o risco de contaminação para os dias, com o ponto azul sólido representando o dia em que é feita a consulta. Enquanto o risco é apontado pelo EPG no diagrama do IRRD, neste estudo utilizamos o valor de RA para fazer tal apontamento.

## 4. Resultados (Estudo de Caso)

Os modelos gráficos produzidos mostram uma representação fidedigna do risco de enchente e alagamento de acordo com os critérios observados. A relação altura da maré *versus* volume acumulado de precipitação de chuva se mostrou eficaz por meio de comprovação baseada em experimentos e conhecimentos adquiridos através da análise do referencial bibliográfico que serviu de base para este estudo, e através de exaustiva experimentação das fórmulas, ajuste de cálculos e ajustes de parâmetros (por exemplo a quantidade de horas considerada para o registro do acúmulo de chuva e o cálculo da altura da maré para os horários não fornecidos pela base de dados) para a obtenção de diferentes resultados de maneira controlada. Os resultados sugerem que os índices, cálculos e modelos propostos por esse trabalho, baseados na construção do conhecimento de maneira empírica e pela observação da relação e entrelaçamento de todos os passos, são coerentes entre si e têm sentido dentro do contexto proposto.

Para os experimentos foram escolhidas apenas as localidades da cidade do Recife que estão próximas ao oceano Atlântico, aos rios ou a grandes canais de escoamento, e que tem uma estação de coleta de dados pluviométricos. São essas as regiões que participaram do experimento: Areias, Ibura, Pina, Porto do Recife, Santo Amaro e Várzea. Sendo assim, todas as zonas da cidade foram contempladas e tiveram resultados.

O grão escolhido (hora) foi adequado para alcançar os objetivos propostos, pois é possível observar que a informação resultante é relevante para a tomada de decisão por parte do cidadão, que pode, por exemplo, decidir qual é o melhor caminho a ser seguido para que ele possa cumprir com algum compromisso presencial baseado nas representações gráficas dos riscos das regiões da cidade por onde ele precisa passar; e também pode apoiar e sustentar a necessidade de uma intervenção imediata em alguma das regiões da cidade, servindo de ferramenta de apoio à decisão para gestores governamentais ou de órgãos públicas ligados a assuntos meteorológicos ou climáticos.

As bases de dados utilizadas não permitiram a construção em tempo hábil de uma ferramenta que gerasse os diagramas a partir de um *input* automático, que se faz possível, dentre outras formas, por meio de uma *REST API* que consulte os valores necessários contidos em um banco de dados remoto, ao invés disso foi necessário fazer a inserção manual dos dados, para ambos os índices utilizados. Devido a este problema, alguns dos dados precisaram ser simulados para que se obtivessem representações gráficas para todos os horários possíveis do dia em que os experimentos foram realizados e assim ter os diagramas preenchidos por completo para o recorte de tempo escolhido. Vale salientar também que alguns dos dados referentes ao volume de chuva acumulado foram simulados de forma que pudessem gerar uma ilustração melhor para este trabalho, acompanhando a tendência dos valores que foram coletados em tempo real. Desta forma, há uma mescla de dados reais coletados em tempo real, e dos valores simulados gerados para preencher os espaços de tempo em que não foi possível obter os dados reais. Foram gerados diagramas a partir de um determinado horário do dia, e o ponto atual (azul) simula que um usuário acessou o diagrama na última hora do dia.

Foi possível observar que os pontos foram impressos em todas as regiões dos diagramas que foram gerados, assim foram encontrados resultados que apontaram para todos os riscos abordados neste estudo (baixo, moderado e alto), sendo mais uma evidência de que os cálculos fazem sentido e de que a ferramenta está com a calibragem adequada. O nível e sensibilidade do código é alto, isso significa que mesmo com uma variação pequena nos valores de entrada, os pontos podem sofrer grandes variações e dar grandes saltos.

O código para a geração dos diagramas de risco precisou ser ajustado e muitas adaptações foram feitas desde o início do desenvolvimento deste trabalho, pois os parâmetros utilizados no projeto do IRRD para a COVID-19 eram totalmente diferentes. Contudo, a arquitetura da biblioteca permaneceu a mesma, salvo os novos métodos de apoio que precisaram ser criados e as alterações necessárias nos parâmetros dos diagramas. Os parâmetros utilizados por ambos os trabalhos podem ser verificados na Tabela 2:

**Tabela 2. Parâmetros utilizados**

COVID-19	Alagamento
Velocidade de propagação da enfermidade	Volume Pluviométrico
Número de pessoas infecciosas	Altura das marés
Índice de crescimento potencial	Índice de risco de alagamento

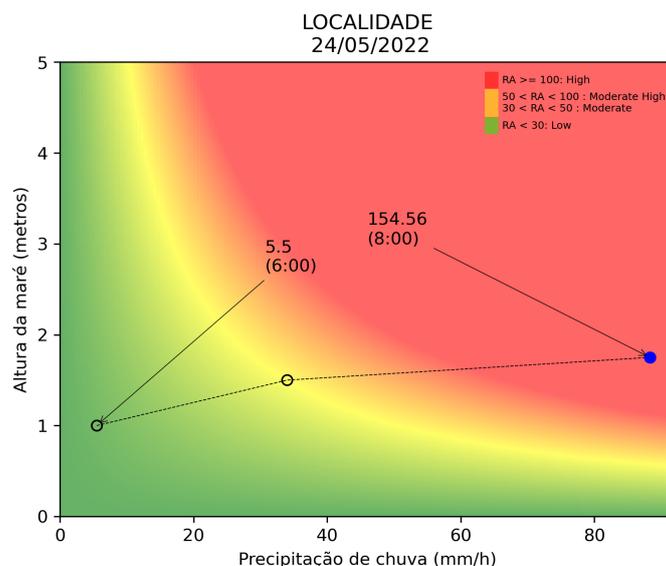
Outra comprovação que sugere que o objetivo foi alcançado é que o níveis de risco utilizados pela APAC foram contemplados em sua integridade nos resultados deste trabalho e os cálculos para a obtenção do índice RA geram pontos que se encaixam perfeitamente em cada intervalo de risco, de acordo com o valor obtido para o ponto. Isso quer dizer que quando o código gera um ponto qualquer, ele será impresso na região esperada, de acordo com o risco que representa.

Analisando os resultados obtidos, podemos considerar que as regiões mais próximas ao oceano registraram um volume acumulado de precipitação de chuva um pouco maior do que as demais localidades da cidade. Somado a isso, a região costeira do Recife conta com a foz de alguns rios em sua geografia, o que pode ocasionar uma interfeência maior das marés nestas localidades do que em outras regiões. Os volumes de chuva registrados na última hora de coleta para este estudo podem ser verificados na Tabela 3:

**Tabela 3. Volume de chuva e altura da maré para última hora coletada**

Área	Chuva (Atual)	Chuva (2 horas)	Maré
Areias	10.41 mm	14.1 mm	1.65 m
Ibura	10.5 mm	13.9 mm	1.65 m
Pina	11.81 mm	26.3 mm	1.65 m
Porto	21.45 mm	31.2 mm	1.65 m
Santo Amaro	13.25 mm	19.64 mm	1.65 m
Várzea	9.74 mm	20.18 mm	1.65 m

Para se beneficiar dos diagramas de risco, a população precisa saber ler a informação que eles contém. Por ser uma ferramenta gráfica, a compreensão em geral não é custosa. O esquema de cores e a disposição da informação são pontos que contribuem para que a ferramenta seja acessível. A seguir, é possível conferir um exemplo de diagrama de risco gerado por este estudo:

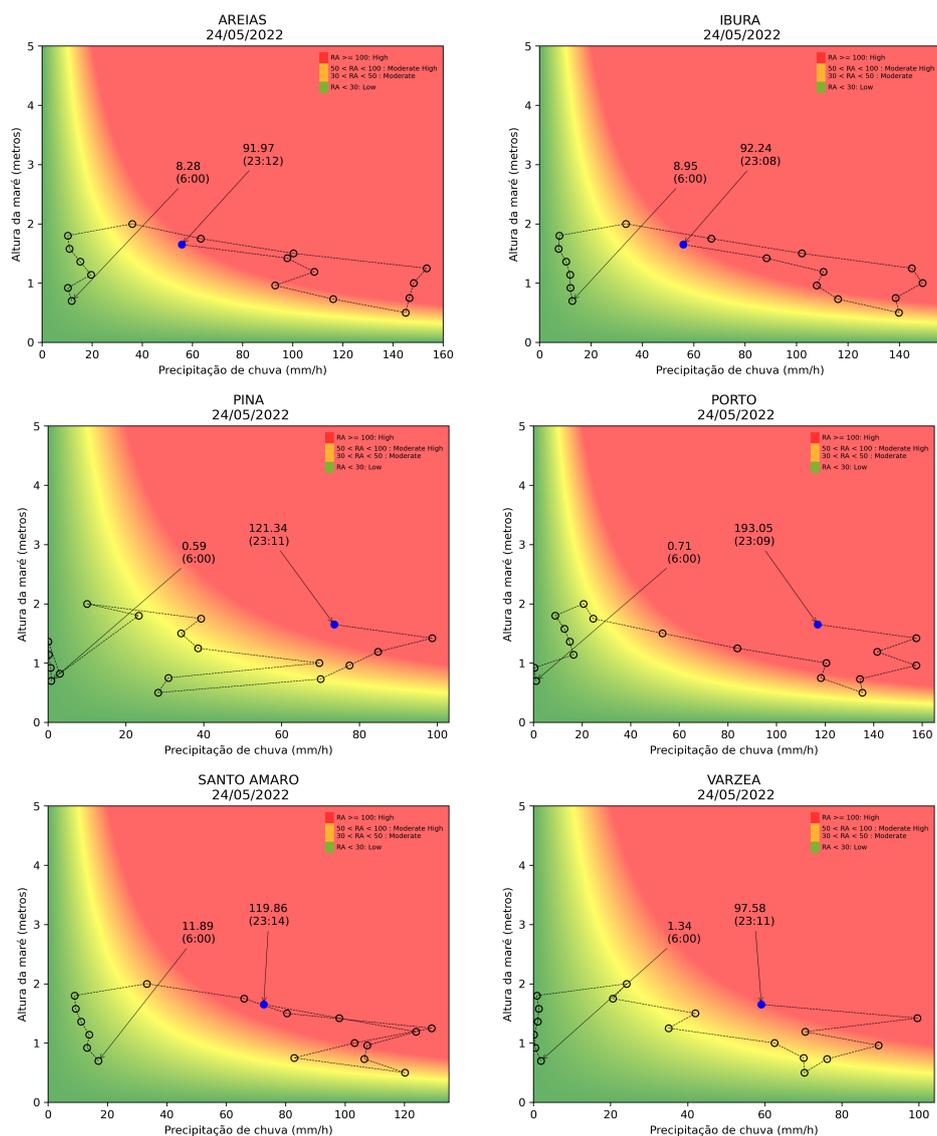


**Figura 3. Exemplo de diagrama de risco aplicado ao volume de chuvas e altura da maré.**

Na Figura 3, o nome **LOCALIDADE** impresso na parte superior do diagrama indica o nome da região a que ele se refere. Logo abaixo, lê-se a data a qual se referem os pontos do diagrama. No eixo vertical, há as medidas para a altura da maré (que é nosso primeiro índice), e no eixo horizontal tem-se a representação do volume acumulado de precipitação de chuva (este índice marca o valor do acumulado de três horas de chuva). Vê-se três pontos, um em cada região de risco do modelo. Cada diagrama de risco vai apontar para o primeiro ponto do dia, no caso do exemplo é o ponto que está na região verde (risco baixo), e irá imprimir o valor do RA para este ponto, com a hora em que esse registro foi obtido entre parêntesis, logo abaixo. A intenção é que se possa fazer uma estimativa de variação desde o primeiro registro do dia até o último. O ponto azul sólido marca o risco atual, do exato momento em que o diagrama é acessado. Também existe uma flecha indicando o valor de RA e o horário de acesso para esse ponto. No canto superior direito, há uma legenda que explica o que cada região do diagrama representa, e quais são os valores que elas compreendem.

Uma importante observação quanto ao modelo de funcionamento do diagrama de risco proposto por este trabalho é que ao término da janela de determinada hora, o valor que será impresso será o último valor correspondente àquela hora, independentemente de quantos acessos foram feitos ao diagrama nesta janela de hora, de acordo com os cálculos que a ferramenta faz para obter os pontos.

Abaixo é possível observar os resultados obtidos para a criação de diagramas de risco para alagamentos e enchentes para as regiões da cidade do Recife que possuem estação de coleta de dados pluviométricos e que sofrem diretamente com a ação das marés por estarem próximas ao oceano ou a um curso d'água (rio ou canal) e por terem alto nível de ocupação urbanística em áreas de planície de inundação. Este estudo propõe que a análise dos dados nele contidos tiveram a observação iniciada às seis horas do dia 24 e Maio de 2022, e foi finalizada aproximadamente às vinte e três horas do mesmo dia:



**Figura 4. Diagramas de risco para alagamentos em áreas do Recife próximas à costa ou cursos d'água.**

## 5. Discussões e Trabalhos futuros

Através das análises feitas no decorrer deste trabalho foi observado que o modelo proposto pelo IRRD para a representação gráfica do risco de propagação da COVID pôde ser adaptado com êxito para a temática do clima, especificamente para a análise de risco de alagamentos e enchentes em regiões costeiras. Esta conclusão baseia-se nos resultados observados para o estudo dos eventos climatológicos adversos causados pelas chuvas na cidade do Recife através do modelo proposto por este trabalho.

O cálculo desenvolvido e os artefatos gerados comprovam que os índices propostos pela APAC em associação à altura da maré, de fato, representam um risco em potencial para a população que reside ou precisa trafegar por regiões próximas a leitos de rios, orla marítima e canais de escoamento e drenagem.

Os recursos utilizados, como os parâmetros estabelecidos pelos artigos discutidos

e analisados, são condizentes com a análise feita neste trabalho. Ao comparar-se os estudos previamente elaborados, por exemplo [Català et al. 2020] (que serviu de base para este trabalho), com a análise neste texto, certifica-se que o tema é de extrema importância para discussões futuras e intervenções sociais.

Para total aproveitamento dos debates propostos neste trabalho, são necessárias para além de percepções teóricas, aplicação de recursos práticos por meio de fundamentações científicas e abordagens mais aprofundadas tais como: acesso ou criação de uma base de dados unificada que provenha o necessário para o bom funcionamento automático dos cálculos deste projeto; inclusão da ferramenta no site do IRRD para que seja disponibilizado à população; melhorias nos modelos propostos.

Há hoje um esforço maior para que se possa manter a ferramenta atualizada pois o processo é manual. Uma melhoria importante é a implementação da atualização automática através da criação de uma REST API para acessar os dados diretamente da ferramenta e ter a informação atualizada em tempo real.

A expansão da área de cobertura da ferramenta para outras regiões do estado de Pernambuco, e até mesmo outras regiões do Brasil, para que a informação alcance o maior número de pessoas possível e a efetividade em evitar desastres seja maior.

A criação de um diagrama interativo deve ser considerada para o futuro, pois aprimoraria a experiência de uso da ferramenta, além de possibilitar a exibição de mais dados, por exemplo as informações de todos os pontos que foram impressos ao invés de apenas o primeiro e o último.

Não é possível impedir que os fenômenos da natureza (as chuvas no caso deste estudo) aconteçam, mas é possível minimizar os impactos ambientais e sociais que tais eventos podem causar. A utilização do modelo proposto neste estudo pode ajudar a cumprir esta tarefa.

Conclui-se que este trabalho é de grande relevância para os estudos de visualização geométrica para análise de risco de alagamentos na cidade do Recife e de suas amplas vertentes nos meios acadêmicos.

## Referências

- Araújo, A. M., Cantalice, J. R. B., Maranhão, A. L. D. A., and Gonçalves, R. P. R. D. R. M. (2008). Comparação entre métodos de estimativa das taxas de variação da altura da maré. *XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, 1(1):1–8.
- Català, M., Cardona, P.-J., Prats, C., Alonso, S., Álvarez, E., Marchena, M., Conesa, D., and López, D. (2020). Analysis and prediction of covid-19 for eu-efta-uk and other countries - methods.
- Farias, A. S. D. (2019). Inundações urbanas em francisco beltrão/pr: Riscos e vulnerabilidades socioambientais. *Universidade Federal do Paraná*, 1(1):1–273.
- Goerlandt, F. and Reniers, G. (2016). On the assessment of uncertainty in risk diagrams author links open overlay panels. *Safety Science*, 84(1):67–77.
- Licco, E. A. and Dowell, S. F. M. (2015). Alagamentos, enchentes enxurradas e inundações: Disgressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. *Iniciação - Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística*, 5(3):163.
- Santos, J. S. D. and Carvalho, S. M. (2021). Ocorrências de alagamentos e enchentes na bacia do arroio da ronda em ponta grossa, pr, brasil. *Terra Plural*, 15(2115390):1–17.
- Sofia, G. and Nikolopoulos, E. I. (2020). Floods and rivers: a circular causality perspective. *Scientific Reports*, 10(5175):1.
- Tucci, C. E. M. (2005). *Gestão de Águas Pluviais Urbanas*. Ministério das Cidades, 1 edition.
- Vieira, F. (2015). Cheia de 1975 no recife - uma tragédia em busca de memória. *Jornal do Commercio*.