RISCOS DE INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS EM CUBATÃO - SP: DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DE DADOS HIDRO-METEOCEANOGRÁFICOS NAS CINCO PRINCIPAIS ÁREAS DE OCORRÊNCIA

FLOOD AND INUNDATIONS RISKS IN CUBATÃO - SP: ASSESSMENT AND ANALYSIS OF HYDROMETEOOCEANOGRAPHIC DATA IN THE FIVE MOST AFFECTED AREAS

Gustavo Silva Nusch, Matheus Souza Ruiz, Regina de Souza Ferreira, Alexandra Franciscatto Penteado Sampaio, Cristina Santos Candido, Renan Braga Ribeiro

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia de Computação

E-mail para contato: nuschh05@gmail.com

RESUMO – Este estudo realizou uma análise das ocorrências de inundações e alagamentos na cidade de Cubatão, localizada na Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), baseando-se em dados hidro-meteoceanográficos locais para compreender os processos naturais que influenciam os bairros com alta suscetibilidade a estas ocorrências. O trabalho correlacionou dados pluviométricos de precipitação (mm), nível do mar (m), nível do Rio Cubatão (m) e vazão da Usina Hidrelétrica (UHE) Henry Borden (m³/s) com o histórico de eventos de inundações e alagamentos fornecido pela Defesa Civil da cidade de Cubatão, no período entre janeiro de 2016 a dezembro de 2024. Resultados mostram elevada correlação das variáveis analisadas com os eventos observados em três regiões consideradas mais críticos a alagamentos/inundações na cidade.

Palavras-chave: Alagamentos; Cubatão; Precipitação; Defesa Civil; Baixada Santista.

ABSTRACT – This study analyzes of floods and inundations in the city of Cubatão, located in the Baixada Santista Metropolitan Region (RMBS). It utilizes local hydrometeorological and hydrodynamic data to understand the natural processes that influence neighborhoods with high susceptibility to these events. The work correlated rainfall data (mm), sea level (m), Cubatão River level (m), and Henry Borden Hydroelectric Power Plant (UHE) outflow (m³/s) with the historical flood and inundation events provided by Cubatão's Civil Defense, from January 2016 to

December 2024. Results show a high correlation between the analyzed variables and the observed events in three regions considered prone to this events in the city.

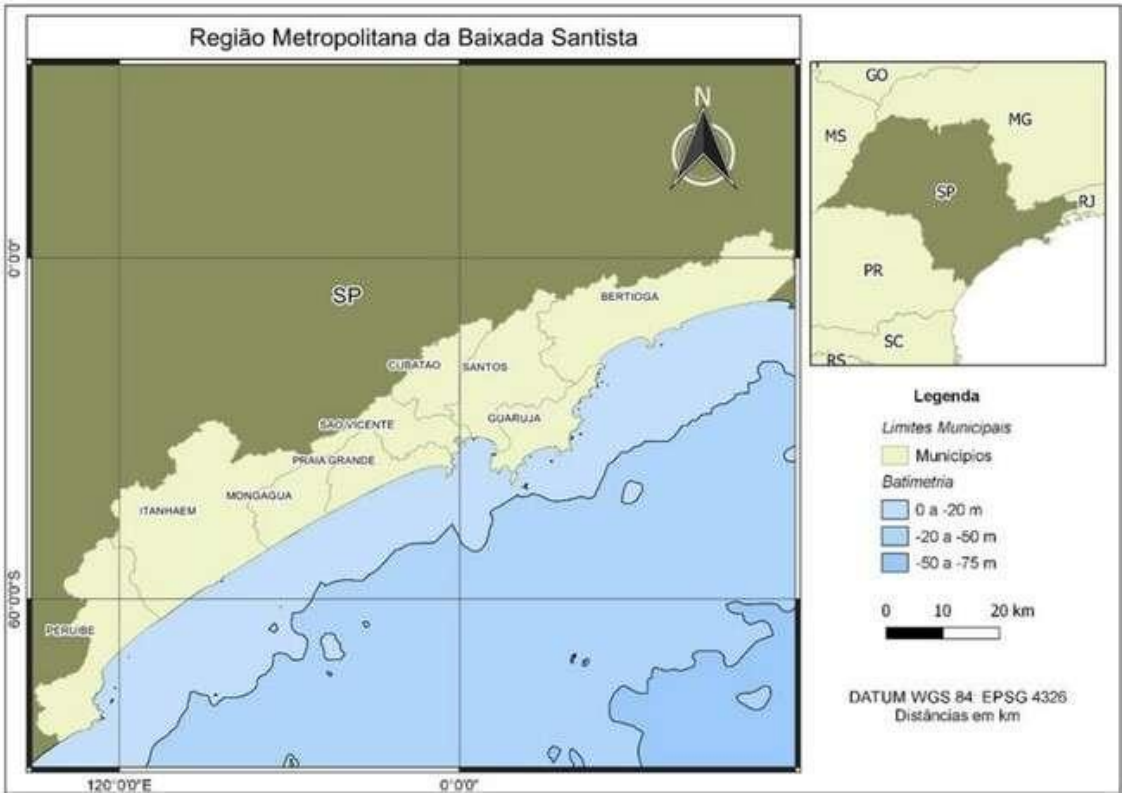
Keywords: Flooding; Cubatão; Precipitation; Civil Defense; Baixada Santista

1 INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS) está localizada no litoral do Estado de São Paulo e possui características tanto ambientais quanto político-econômicas que a tornam uma região de especial importância para o estudo, sendo a terceira maior região metropolitana do Estado de São Paulo (Jakob, 2003). A RMBS é constituída por nove municípios: Santos; São Vicente; Praia Grande; Mongaguá; Guarujá; Peruíbe; Itanhaém; Cubatão; e Bertioga (

Figura 1), sendo que na sua porção central está situado o Sistema Estuarino de Santos e São Vicente (SESSV), onde estão localizados cinco dos nove municípios da região: Santos, São Vicente, Guarujá, Praia Grande e Cubatão.

Figura 1: Mapa da região metropolitana da baixada santista (RMBS) com os nove municípios aparentes (Oliveira, Folharini e Junior, 2018).

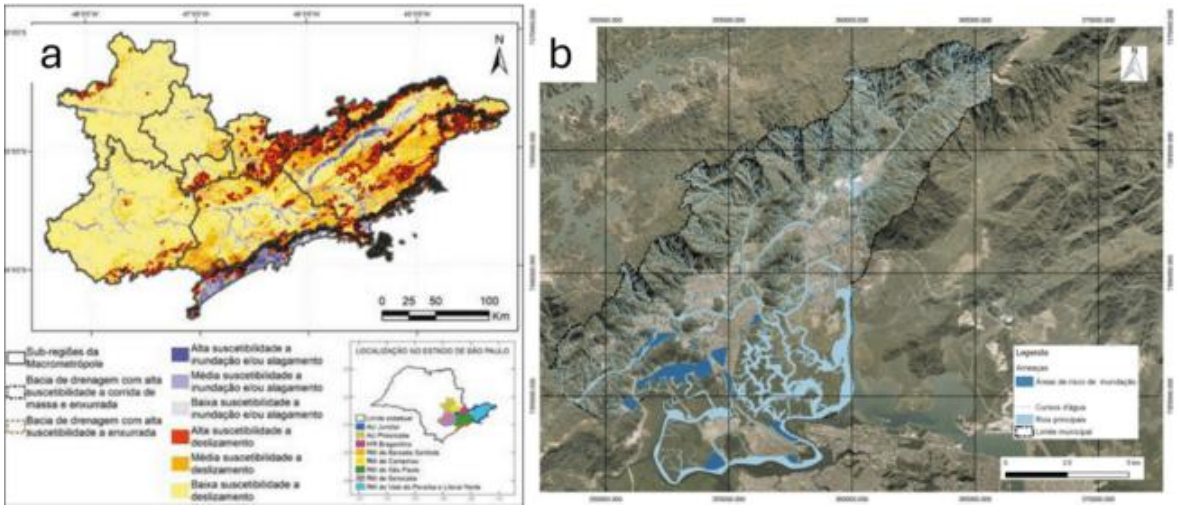


A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 7 – UGRHI 7, correspondente à Bacia Hidrográfica da Baixada Santista, possui uma área de 2.818,40 km² (CBH-BS, 2024) possui grande ocorrência de eventos de alagamento e inundação (Figura 2a) decorrentes do intenso processo de urbanização que ali foi estabelecida (Bitar et al., 2021). Sua população fixa é de 1.802.531, segundo IBGE (2022), e na temporada de verão estimam-se cerca de 3.000.000 de pessoas.

Os cenários de inundações/alagamentos em Cubatão são complexos, moldado por fatores pluviais, fluviais (Rio Cubatão) e marinhos (estuário), além da influência dos deflúvios da Usina Hidrelétrica (UHE) Henry Borden Cubatão (Costa, Souza e Suguio, 2005).

Este trabalho busca diagnosticar as causas desses eventos por meio de uma análise direcionada em seis bairros mais afetados: Pilões e Água Fria, na planície fluvial; Ilha Caraguatá, em área de estuário; e Vila Noel, Vila Nova e Vila São José, localizadas em planícies urbanizadas (Figura 2b).

Figura 2: a) Mapa de suscetibilidade a inundação na região sudeste do estado de São Paulo com foco na alta suscetibilidade na RMBS (Bitar, Campos, et al., 2021). b) Mapa com as áreas de risco de inundação em Cubatão (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2018).



O presente estudo tem como objetivo principal realizar uma análise integrada dos dados hidro-meteoceanográficos locais, com o intuito de compreender os processos naturais

que influenciam a área urbana da cidade de Cubatão e focando especificamente nas cinco áreas com maior número de ocorrências de alagamentos em Cubatão: Pilões, Água Fria, Ilha Caraguatá, Vila Noel e Vila Nova / Vila São José, todas incluídas no Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR) atualizado do município. A partir da correlação desses dados com o histórico de eventos da Defesa Civil, busca-se identificar os gatilhos e os processos naturais distintos que afetam cada uma dessas localidades e fornecer subsídios técnicos para a gestão de riscos e tomada de decisão para redução dos impactos desses eventos nas comunidades vulneráveis.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar essa análise foram obtidos dados históricos de precipitação acumulada, nível do mar, nível do Rio Cubatão e vazão da UHE Henry Borden, no período de janeiro de 2016 até dezembro de 2024, período em que foi realizada a relação destas variáveis com o histórico de registros de alagamentos/inundações fornecido pela Defesa Civil de Cubatão. Com essas informações, foi verificada a qualidade das séries de dados disponíveis para identificação dos padrões quando examinados todos os dados em conjunto, utilizando como método o estudo de séries temporais, definidos como uma análise de dados de sequenciais contínuos atrelados a um período específico (Wiener, 1949).

Foram obtidas séries de dados para o período de janeiro de 2016 a dezembro de 2024, de diferentes fontes disponíveis. Para a precipitação (mm), foram obtidos dados de pluviômetros do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e da ECOVIAS; dados de nível do mar (m) foram obtidos a partir da rede de monitoramento em tempo real da Praticagem de São Paulo enquanto para o nível do Rio Cubatão (m) foram utilizados dados fornecidos pela Petrobrás; por fim, foram utilizados dados de vazão (m^3/s) dos deflúvios na indústria Henry Borden, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). Todos os dados foram tratados e integrados para identificação de padrões quando examinados em conjunto.

Além das séries de dados obtidos através das estações mencionadas acima foram recebidos documentos da Defesa Civil de Cubatão referentes ao histórico de alagamentos e

inundações mapeados desde o ano de 1976 até o ano de 2024, sendo que esse histórico conta com o registro dos horários das ocorrências e dos bairros afetados. Com esses dados oficiais os estudos de correlação podem então ser validados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das informações fornecidas pela Defesa Civil de Cubatão e do Plano Municipal de Redução de Risco (disponibilizado através da Sala de Situação da Baixada Santista), foi possível identificar as áreas com maior número de ocorrências e moradias ameaçadas na região (Tabela 1). Observa-se que nos bairros identificados como os mais afetados da cidade, até mil moradias podem estar ameaçadas durante a ocorrência de eventos extremos.

Dentre o período avaliado neste estudo, a análise se baseou em um histórico de 31 ocorrências de alagamentos, distribuídas em 14 dias distintos. Sendo que, a análise da correlação entre esses eventos e as variáveis hidro-meteoceanográficas foi condicionada pela disponibilidade de dados no período.

Tabela 1. Regiões com maior número de registros de alagamentos e inundações e moradias ameaçadas de acordo com o PMRR de Cubatão da Sala de Situação de Recursos Hídricos da Baixada Santista (SS-BS).

Nome da Área	Caracterização geomorfológica	Diagnostico do setor	Grau de Risco	Nº moradias ameaçadas	Nº ocorrências
Pilões	Morrotes e planície de inundação.	Inundação anual do Rio Cubatão.	R1	60	8
Água Fria	Morrotes e planície de inundação.	Inundação anual do Rio Cubatão.	R1	60	6
Ilha Caraguatá	Planície de inundação, ambiente de restinga e mangue inundado.	Inundação anual do Rio Santana.	R1	200	5
Vila Noel	Planície de inundação.	Inundação anual de córrego local.	R1	80	5
Vila Nova / Vila São José	Planície de inundação, ambiente de restinga e mangue inundado.	Inundação anual do Rio Cubatão.	R1	600	7

Dos 14 dias de eventos, foi possível obter dados de nível do mar e precipitação para todas as ocorrências. Em contraste, os dados de nível do Rio Cubatão estavam disponíveis para apenas 4 desses eventos, concentrando a análise da influência fluvial nos anos mais recentes da série histórica (a partir de 2019).

A Tabela 2 indica as possíveis causas desses eventos de acordo com a análise realizada considerando as séries temporais de dados ambientais e o mapa de ameaças múltiplas do município de Cubatão (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2018). Verifica-se que nas áreas de Pilões e Água Fria, situadas na região de Cota/Serra, a dinâmica é predominantemente fluvial e pluvial, e as inundações são deflagradas pela combinação de chuvas intensas, que geram escoamento rápido a partir dos morrotes, com a elevação do nível do Rio Cubatão. Na Ilha Caraguatá, por sua vez, o processo dominante é de origem costeira, sendo a principal causa das inundações a maré alta, que por si só pode inundar a planície de mangue e a área urbana adjacente. Este cenário ainda é agravado quando há ocorrência de chuvas, pois a maré elevada represa o escoamento da drenagem local nesta região. Por fim, os bairros da planície central, como Vila Noel, Vila Nova e Vila São José, apresentam os cenários mais complexos, caracterizados por eventos conjugados. Nessas áreas, os alagamentos resultam da sobreposição de múltiplos fatores, sendo eles: a dificuldade da drenagem urbana em escoar a chuva, a consequente elevação de rios e córregos (fator fluvial) e a influência da maré alta, que reduz a capacidade de escoamento de toda a bacia para o estuário.

Tabela 2. Descrição das possíveis causas dos problemas nos bairros da área de estudo.

Região Geográfica	Principais Bairros	Tipo de Risco Hidrológico
Áreas de Cota/Serra	Pilões e Água Fria	Caracterizadas por risco fluvial-pluvial. As inundações são deflagradas pela combinação de chuvas intensas em relevo acentuado (fator pluvial) e pela elevação do nível do rio (fator fluvial). Este cenário pode ser potencializado pela vazão operacional da UHE Henry Borden, que pode atuar como gatilho secundário.
Áreas de Planície Central	Vila Noel, Vila São José e Vila Nova	Caracterizadas por eventos conjugados com predominância do fator pluvial. O risco principal está associado a chuvas intensas e à capacidade dos sistemas de drenagem urbana. O escoamento é dificultado por causas secundárias de origem fluvial (cheia de rios e córregos) e costeira (influência da maré), que reduzem a capacidade de vazão da bacia.
Áreas Insulares e de Mangue	Ilha Caraguatá	Caracterizadas por risco predominantemente costeiro. O principal fator de risco é o nível do mar elevado, que pode por si só causar inundações. A causa secundária é o represamento da drenagem pluvial, ocorrendo quando a chuva não consegue escoar devido ao nível elevado do mar.

Os resultados das análises indicaram que em 100% dos casos de inundação nas áreas de cota (Pilões de Água Fria), a precipitação registrada na região de Serra foi superior a 80mm. Nesses eventos, o rio Cubatão apresentou altura acima de 4,5m em todos os episódios e vazão superior a 350m³/s em 83,33% deles.

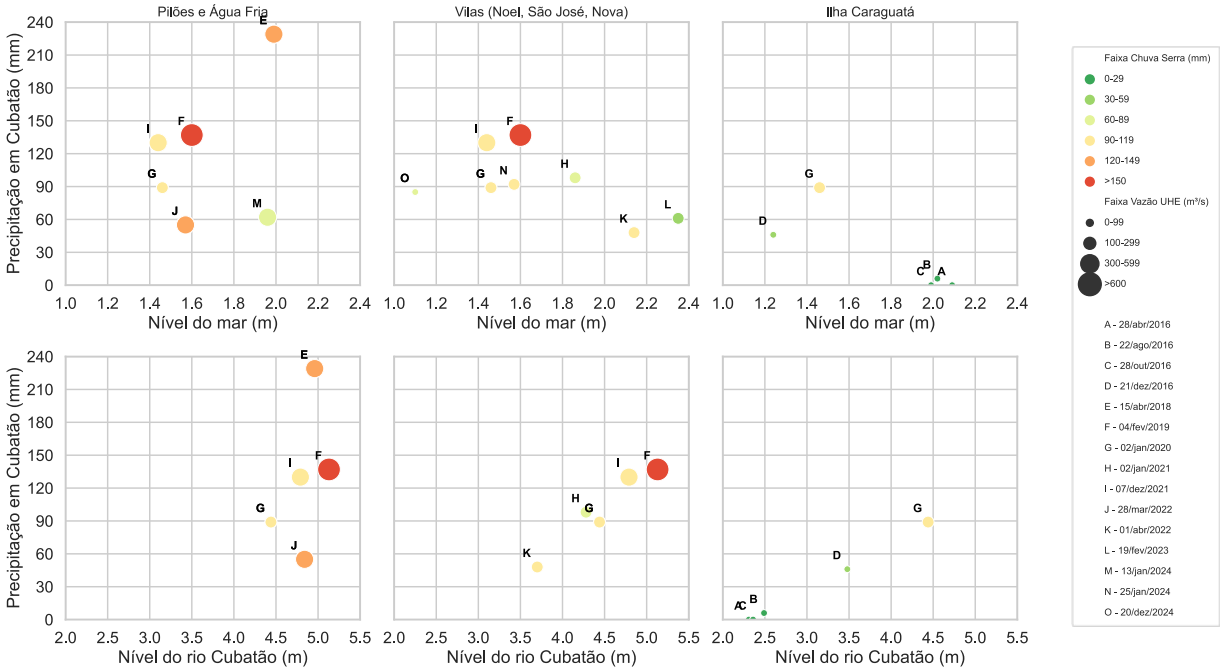
Na região central (Vila Noel, Vila São José e Vila Nova), observou-se a influência conjugada da precipitação acumulado e da elevação do nível do rio. Além disso, por esses bairros estarem mais próximos da zona costeira, o fator maré também se tornou relevante para os alagamentos. A Figura 3 a seguir, evidencia os eventos de inundação que ocorreram em situações de alta precipitação, vazão da UHE Henry Borden e subida do nível do rio. A análise mostra que a precipitação na região de Serra não é o principal fator para as inundações nessa área. Em 90% dos casos, registraram-se chuvas superiores a 60mm na cidade, associadas a níveis do rio consistentemente acima de 4,2m e nível do mar acima de 1,8m, em 44,44% dos eventos. A vazão da UHE Henry Borden também se manteve elevada, superando 150m³/s em 75% dos casos.

Nas áreas insulares e planícies de inundação (Ilha Caraguatá), o nível do mar foi quem apresentou influência predominante nos alagamentos. Em 80% dos casos, a precipitação diária registrada foi inferior a 50mm, sendo que, em 75% desses eventos, não ultrapassou 6mm, valor considerado pouco expressivo. O nível do rio Cubatão manteve-se em média próximo de 2,5m, superando a faixa de 3m em apenas dois dos cinco registros analisados, o que sugere que sua influência sobre essa região é limitada. Por outro lado, a maré mostrou-se um fator determinante: em três dos cinco casos, superou 1,99m, com exceção justamente dos eventos em que a precipitação local foi mais intensa. A vazão defluente da UHE Henry Borden também se mostrou pouco relevante, permanecendo abaixo de 90m³/s em 100% dos casos, indicando que essa área pode não ser afetada pela vazão proveniente da usina.

Para cada gráfico da Figura 3, foram considerados apenas os eventos que possuíam, simultaneamente, dados disponíveis para as variáveis correlacionadas ao respectivo painel. Eventos com ausência em qualquer uma das variáveis críticas (precipitação (cidade e serra), nível do mar, nível do rio Cubatão e vazão da UHE Henry Borden) foram excluídos da análise.

Nota-se deste modo, que dos 14 eventos analisados, apenas 4 deles não possuíam dados de nível do rio, referentes as datas da imagem: L, M, N e O.

Figura 3: Gráficos de dispersão correlacionando a precipitação acumulada em Cubatão (eixo Y) com o nível do mar (linha superior) e o nível do rio Cubatão (linha inferior). Cada coluna representa uma área de estudo: Pilões e Água Fria, Vilas (Noel, São José e Nova) e Ilha Caraguatá. A cor de cada ponto indica a intensidade da precipitação na Serra, enquanto o tamanho representa a vazão da Usina Hidrelétrica (UHE) Henry Borden.



4 CONCLUSÃO

O estudo conclui que os alagamentos e inundações em Cubatão apresentaram processos distintos conforme a região. Nas áreas insulares e de mangue (Ilha Caraguatá), o nível do mar atuou como causa predominante, sendo responsável por 60% dos eventos com níveis do mar superiores a 1,9m, todos ocorridos sem chuvas significativas, indicando influência significativa da maré. Nos bairros de cota/serra (Pilões e Água Fria), os eventos foram associados a chuvas intensas na serra (>80 mm/dia) e à resposta fluvial do rio Cubatão, podendo ser potencializados pelos deflúvios elevados da UHE Henry Borden, caracterizando assim um regime pluvial-fluvial. Enquanto na planície central (Vila Noel, Vila Nova e Vila São José), os alagamentos resultaram da combinação principalmente entre precipitação local (>60 mm) e elevação do nível do rio Cubatão (>3,2 m), tendo as descargas elevadas da UHE (>300 m³/s) e o nível de

mar como fatores secundários no processo. Por ser baseado em correlações, ressalta-se que este estudo sofreu limitações, como por exemplo a ausência de dados para anos anteriores a 2016, o que restringiu a análise de toda a série histórica. Além disso, o histórico mais detalhado de alagamentos depende dos reportes da população à Defesa Civil, existindo a possibilidade de subnotificação, onde eventos de menor magnitude podem não ter sido oficialmente reportados e registrados. Além disso, a não inclusão de outras variáveis como vento e condições de escoamento da drenagem urbana, representa uma limitação atual e a possibilidade de continuidade destes estudos a fim de quantificar com maior precisão as relações de causa e efeito aqui sugeridas. Adicionalmente, a utilização de modelos de machine learning também pode vir a quantificar a contribuição de cada variável e gerar previsões de risco em tempo real, servindo como base para um futuro sistema de alerta. Contudo, a longo prazo, espera-se que os limiares identificados neste estudo possam servir de base para o desenvolvimento de um sistema de alerta precoce para a Defesa Civil municipal, aumentando a resiliência da comunidade local a eventos extremos. Os autores agradecem ao Programa de Iniciação Científica da Universidade Santa Cecília (PIBIC-UNISANTA) pela bolsa de iniciação científica para a realização desta pesquisa.

5 REFERÊNCIAS

BITAR, Omar Yazbek et al. Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações na Região da Macrometrópole Paulista. [S.l.]: Associação Brasileira de Geólogos de Engenharia e Ambiental (ABGE), 2021.

COSTA, Daniela Dea; SOUZA, Célia Regina de Gouveia; SUGUIO, Kenitiro. Relações entre dados pluviométricos, fluviométricos e maregráficos nos eventos de inundações e alagamentos no município de Cubatão (SP). São Paulo: Instituto de Geociências, USP, 2005. p. 1-6.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS. Mapa de ameaças múltiplas do município de Cubatão, SP. Cubatão: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2018. p. 29-30.

JAKOB, Anselmo Alfredo Endlich. Análise sócio-demográfica da constituição do espaço urbano. 2003. 220 f. Tese (Doutorado em Sociologia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

OLIVEIRA, Regina Célia de.; FOLHARINI, Saulo de Oliveira; JUNIOR, Edson Antônio Mengatto. Gestão Costeira. *In*: SEMINÁRIO DE PESQUISA DO NÚCLEO DE ESTUDOS, 1., 2018, Campinas. Anais do I Seminário de Pesquisa do Núcleo de Estudos Ambientais e Litorâneos do Instituto de Geociências da UNICAMP. Campinas: IG/UNICAMP, 2018. p. 45-48.

SANTOS, Bianca Basso dos. Pluviosidade e limiares de estabilidade: uma revisão para a região. 2017. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

SANTOS, Paulo Gabriel Pereira dos; OLIVEIRA, Thiago Farias de. Modelagem e previsão de vazão afluente média mensal no Rio Tocantins, Usina Hidrelétrica Tucuruí-Pará, Amazônia, Brasil. Biota Amazônia, Macapá, v. 6, n. 2, p. 43-50, 2016.

SIGRH. SigRH. São Paulo: SIGRH, [20--]. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/cbhbs/apresentacao. Acesso em: 4 nov. 2024.

WIENER, Norbert. Extrapolation, interpolation, and smoothing of stationary time series: with engineering applications. Massachusetts: The MIT Press, 1949.