

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Título do trabalho
um subtítulo

Maysa Cristina Claudino da Silva

MONOGRAFIA FINAL
MAC 499 — TRABALHO DE
FORMATURA SUPERVISIONADO

Supervisor: Prof. Dr. Fabio Kon

São Paulo
2025

*O conteúdo deste trabalho é publicado sob a licença CC BY 4.0
(Creative Commons Attribution 4.0 International License)*

Sumário

| | | |
|-------------------------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 2 | O cenário do estudo | 3 |
| 2.1 | Fenômenos hidrológicos | 4 |
| 2.2 | Drenagem urbana e alagamentos | 4 |
| 3 | Análise e tratamento dos dados | 7 |
| 3.1 | Origem dos dados | 7 |
| 3.2 | Análise inicial | 8 |
| 3.3 | Construção dos arquivos de entrada | 11 |
| 3.3.1 | Chuvas e capacidade das vias | 13 |
| 4 | O InterSCSimulator | 17 |
| 4.1 | Gerenciador de eventos | 17 |
| 5 | Resultados e Análise | 19 |
| 6 | Conclusão | 21 |
| Referências | | 23 |
| Índice remissivo | | 27 |

Capítulo 1

Introdução

To-do

Capítulo 2

O cenário do estudo

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a cidade de São Paulo alcançou 11,4 milhões de habitantes no censo de 2022, configurando-se como uma megaciudadade pelo seu porte populacional. Quando considerada a Região Metropolitana, esse número ultrapassa 22 milhões de habitantes, tornando-a a sexta área metropolitana mais populosa do mundo e a maior da América Latina [WORLD POPULATION REVIEW, 2025](#).

Historicamente, o planejamento urbano paulistano privilegiou o transporte individual em detrimento do transporte coletivo. Segundo NONA, a substituição dos bondes elétricos por investimentos na expansão do sistema viário, iniciada no início do século XX, marcou uma mudança de paradigma na mobilidade urbana paulistana. O Plano de Avenidas, elaborado pelo ex-prefeito Prestes Maia na década de 1930, consolidou essa orientação ao priorizar o rodoviarismo e expandir o sistema viário em detrimento da rede de transporte público [ASQUINO, 2009](#). Atualmente, quase metade das viagens motorizadas realizadas no município são individuais [ZIONI et al., 2024](#).

O transporte público, por sua vez, vem enfrentando um processo contínuo de precarização. De acordo com ZIONI *et al.*, o tempo médio de deslocamento por transporte coletivo é 2,13 vezes superior ao registrado para o transporte individual. Estima-se que cerca de 5,5 milhões de passageiros sejam transportados diariamente por uma frota de pouco mais de 13 mil ônibus [ZIONI et al., 2024](#). A superlotação, a irregularidade nos horários e o custo elevado das tarifas têm incentivado a migração para o transporte individual motorizado, o que agrava os congestionamentos e intensifica a lotação do sistema viário urbano.

A construção de um sistema de mobilidade resiliente é essencial para assegurar a continuidade das atividades econômicas e sociais mesmo diante de eventos extremos. Conforme apontam [M. F. d. SILVA et al., 2024](#), a resiliência da mobilidade urbana envolve a capacidade de resistir, absorver e se recuperar de perturbações, garantindo o funcionamento mínimo dos sistemas de transporte. Essa resiliência pode ser fortalecida por meio da integração de tecnologias de monitoramento e predição de desastres em tempo real [M. F. d. SILVA et al., 2024](#). Nesse sentido, iniciativas que analisam o efeito dos alagamentos sobre a mobilidade, como este trabalho, contribuem diretamente oferecendo subsídios técnicos para a gestão urbana.

2.1 Fenômenos hidrológicos

No contexto urbano, é importante diferenciar enxentes, inundações e alagamentos. Segundo V. C. d. SILVA, as enxentes resultam do aumento natural da vazão de cursos d'água após chuvas intensas. Já de acordo com o CEMADEN, as inundações ocorrem quando os rios transbordam e atingem áreas que não são usualmente submersas, enquanto os alagamentos decorrem da incapacidade do sistema de drenagem urbana de escoar o volume precipitado, fazendo com que a água se acumule em vias e calçadas.

São Paulo foi construída sobre e ao redor dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí, cujas várzeas eram naturalmente sujeitas a inundações sazonais. A canalização desses cursos d'água e a urbanização intensa modificaram profundamente o regime hidrológico da região, restringindo o espaço natural de escoamento das águas e aumentando a frequência dos alagamentos. A impermeabilização do solo e o descarte inadequado de resíduos sólidos reduzem a infiltração e obstruem o sistema de drenagem, potencializando o acúmulo de água nas vias.

Áreas altamente impermeabilizadas, com excesso de concreto e pouca vegetação, favorecem a formação de tempestades de verão, precipitações de curta duração e alta intensidade. Chuvas extremas correspondem a precipitações que se afastam significativamente da média ou da condição climática de referência. Desde os anos 2000, esses episódios intensos têm ocorrido com frequência cada vez maior [COLL, 2020](#).

As mudanças climáticas globais estão diretamente relacionadas ao aumento da ocorrência de chuvas extremas. O aquecimento global intensifica a capacidade da atmosfera de reter umidade, resultando em precipitações mais volumosas e concentradas em curtos períodos. O PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC) aponta que, para cada aumento de 1°C na temperatura média global, a intensidade das precipitações extremas diárias pode aumentar em até 7%. Assim, projeta-se uma tendência de intensificação desses eventos ao longo das próximas décadas.

2.2 Drenagem urbana e alagamentos

A infraestrutura de drenagem paulistana é insuficiente para o volume atual de precipitações. No centro expandido, as galerias pluviais são antigas, estreitas e, muitas vezes, deterioradas [JACOBI, 2000](#). O acúmulo de resíduos sólidos e o entupimento de bocas de lobo reduzem ainda mais a capacidade de escoamento, resultando em alagamentos mesmo em chuvas de baixa intensidade.

Segundo V. C. d. SILVA, o volume anual de chuvas na cidade de São Paulo apresentou um aumento gradual ao longo do século XX, passando de aproximadamente 1.300 mm/ano para cerca de 1.500 mm/ano na década de 1990, com registros que eventualmente ultrapassaram 2.000 mm/ano em anos posteriores. Entre 2005 e 2019, o CGE registrou aproximadamente 15 mil pontos de alagamento no município, com concentração nas marginais Tietê e Pinheiros e nos na região central [CARVALHO, 2021](#).

Desde o século XIX, políticas públicas voltadas ao controle de cheias e saneamento foram implementadas para viabilizar a expansão urbana. O Plano de Avenidas transformou

os fundos de vale em eixos viários, subordinando os cursos d'água à lógica do tráfego veicular. Mais recentemente, planos como o Plano Diretor de Drenagem e o Plano Municipal de Redução de Riscos buscaram mitigar os impactos das inundações com obras estruturais, como piscinões, e com soluções baseadas na natureza SÃO PAULO, 2025. No entanto, a fragmentação institucional e a predominância do paradigma rodoviarista ainda dificultam uma gestão integrada e sustentável das águas urbanas.

Os alagamentos urbanos têm como consequência imediata a interrupção parcial ou total do tráfego, provocando congestionamentos e comprometendo a mobilidade. Vias importantes da capital podem permanecer interditadas por horas, afetando o acesso a serviços e a atividades econômicas. A redução da capacidade viária decorre tanto do acúmulo físico de água nas pistas quanto do comportamento dos motoristas, que tendem a reduzir a velocidade e aumentar a distância de segurança CARDOSO, 2019. Segundo CARDOSO, a densidade da capacidade viária pode diminuir em até 11% durante eventos de chuva intensa. Os bloqueios em vias estratégicas, como as marginais Tietê e Pinheiros, produzem efeitos em cascata, sobrecarregando as rotas alternativas e gerando congestionamentos generalizados.

A interação entre urbanização, mobilidade e dinâmica hidrológica evidencia que os alagamentos em São Paulo não são fenômenos isolados, mas o resultado de um conjunto de fatores estruturais, históricos e climáticos. Compreender esse contexto é fundamental para estabelecer os principais fatores que condicionam a ocorrência de alagamentos e seu impacto sobre a circulação urbana.

Capítulo 3

Análise e tratamento dos dados

São Paulo, a maior metrópole da América Latina, apresenta diariamente um fluxo intenso e complexo de deslocamentos urbanos. Este capítulo tem como objetivo definir o escopo espacial e temporal adotado para a simulação da mobilidade urbana na cidade, buscando reduzir a complexidade inicial do estudo. O foco está na observação das ocorrências de alagamento e na sua relação com os índices pluviométricos correspondentes. Além de delimitar a região de interesse, o tratamento dos dados foi essencial para identificar quais informações são relevantes ao simulador e como elas devem ser estruturadas. As seções seguintes descrevem a origem dos dados, as análises realizadas e o processo de organização das informações para a etapa de simulação.

3.1 Origem dos dados

Para simular a mobilidade urbana em cenários de alagamento precisamos analisar algumas informações cruciais: as ocorrências de alagamentos dos últimos anos, o histórico de pluviometria, as viagens realizadas pelos cidadãos e a rede viária da cidade. A Tabela 3.1 resume as fontes de dados utilizadas nesse trabalho e suas páginas de acesso.

A plataforma GeoSampa disponibiliza para download o histórico das ocorrências de alagamentos registradas pela Defesa Civil desde 2013. A Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) também forneceu o seu histórico de pontos de alagamentos a partir do ano de 2006 até novembro de 2024. O conjunto dessas fontes foram usadas para obter o momento e a localização de alagamentos passados.

Para obter informações dos eventos climáticos que provocaram os alagamentos, foram coletados os registros pluviométricos da estação automática A701 São Paulo - Mirante do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na subprefeitura Santana-Tucuruvi, zona norte da capital. O Banco de Dados do INMET fornece os dados coletados a cada hora pela estação desde o ano de 2000. Para informações mais específicas de cada região, foram utilizados os dados do Boletim Pluviométrico do Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas (CGE) que fornece a pluviometria diária de cada subprefeitura desde 2010.

Apesar dos registros fornecidos pela CET começarem em 2006, as coordenadas geográficas dos eventos começaram a ser registradas apenas em 2018. Nos anos anteriores foi salvo

apenas o nome da via e uma referência por escrito do local afetado. Assim, considerando esse fator e a intersecção dos períodos das fontes, os dados analisados e utilizados na simulação contemplam o intervalo de janeiro de 2018 à novembro de 2024.

A Pesquisa Origem Destino, também chamada de Pesquisa OD, realizada pela Companhia do Metropolitano de São Paulo reflete os padrões de deslocamento das pessoas na Região Metropolitana de São Paulo. As mais de 21 milhões de viagens diárias que população passou a realizar após o impacto da pandemia da Covid-19, foram refletidas na Pesquisa OD de 2023. Devido a sua atualidade, essa versão da pesquisa foi utilizada para representar a mobilidade urbana nesse trabalho.

A rede viária da cidade de São Paulo foi obtida através do OpenStreetMap, um projeto de distribuição informações geográficas do mundo todo. Os dados são mantidos pela própria comunidade e abertos para qualquer pessoa.

Com as fontes de dados consolidadas e o período definido, passou-se à etapa de análise exploratória, buscando identificar padrões espaciais e temporais relevantes para o experimento de simulação.

| Fonte dos Dados | Descrição | Página web |
|---|---|--|
| GeoSampa | Ocorrências de alagamentos registradas pela Defesa Civil desde 2013. | Portal GeoSampa |
| Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) | Pontos de alagamentos registrados entre 2006 e novembro de 2024. | Não estão publicados na web. |
| Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) | Registros pluviométricos horários da estação automática A701 (São Paulo - Mirante) desde o ano de 2000. | Banco de Dados Meteorológicos do INMET |
| Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas (CGE) | Pluviometria diária para cada sub-prefeitura de São Paulo desde 2010. | Boletim Pluviométrico CGESP |
| Pesquisa Origem-Destino (Pesquisa OD) 2023 | Viagens diárias na Região Metropolitana de São Paulo. | Portal da Pesquisa OD (Metrô) |
| OpenStreetMap | Mapa da rede viária (ruas, avenidas, etc.) da cidade de São Paulo. | Portal OpenStreetMap |

Tabela 3.1: Fontes de dados utilizadas no trabalho.

3.2 Análise inicial

Nessa primeira etapa, foram analisados os dados obtidos das fontes mencionadas anteriormente a fim de compreender o comportamento de alagamentos na cidade e identificar regiões com sobreposição significativa entre ocorrências de alagamentos e viagens. A partir desse estudo é possível definir a área de foco do trabalho e construir heurísticas acerca dos parâmetros temporais necessários para simular os cenários de chuva e alagamentos.

3.2 | ANÁLISE INICIAL

O mapa da Figura 3.1 mostra a densidade dos registros de ocorrências de alagamentos por km² nas subprefeituras de São Paulo. A ferramenta Leaflet foi usada para montar os mapas ilustrados nessa seção. A versão interativa dos mapas, incluindo os mapas específicos de cada ano, pode ser acessada na página web desse trabalho.¹

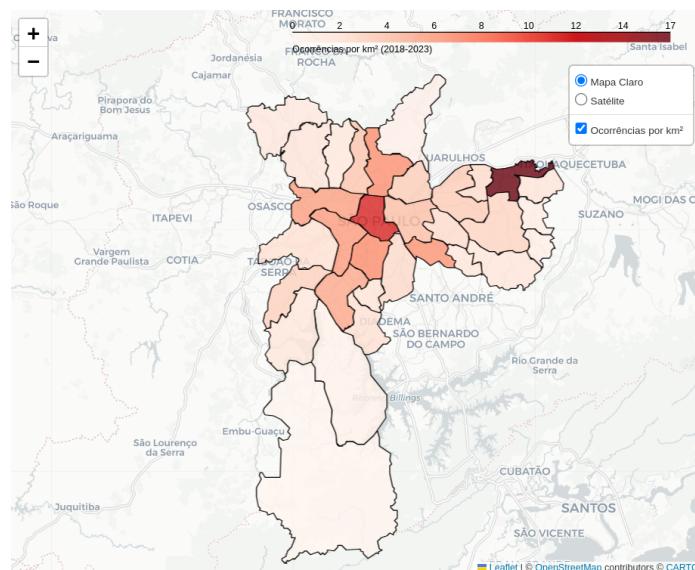


Figura 3.1: Registros de alagamentos por km² nas subprefeituras de São Paulo.

A Tabela 3.2 contém os valores numéricos das cinco subprefeituras com mais ocorrências de alagamento no período analisado.

| Subprefeitura | Total de eventos | Eventos por km ² |
|------------------|------------------|-----------------------------|
| Sé | 312 | 11,70 |
| São Miguel | 432 | 16,52 |
| Santana-Tucuruvi | 225 | 6,29 |
| Lapa | 225 | 5,54 |
| Santo Amaro | 192 | 5,09 |

Tabela 3.2: As cinco subprefeituras com mais ocorrências de alagamento.

Observamos que as regiões da Sé e de São Miguel apresentam um número de alagamentos mapeados significativamente maior que o das demais regiões da capital. No entanto, as duas apresentam características distintas.

São Miguel, no extremo leste da capital, apresenta o maior número de alagamentos, embora esses eventos se concentrem em poucos pontos, sem grande dispersão pela região. Segundo a Pesquisa OD de 2023, a região registra cerca de 1,2 milhão viagens produzidas e atraídas diariamente. Já a Sé contabiliza quase 3,3 milhões de viagens, refletindo o papel central que exerce na rede de mobilidade da cidade. Além das viagens com origem ou destino na própria subprefeitura, muitas outras atravessam a região, conectando diferentes zonas da capital.

¹ Disponível em: <https://maysaclaudino.github.io/tcc/mapas-analise-inicial/>

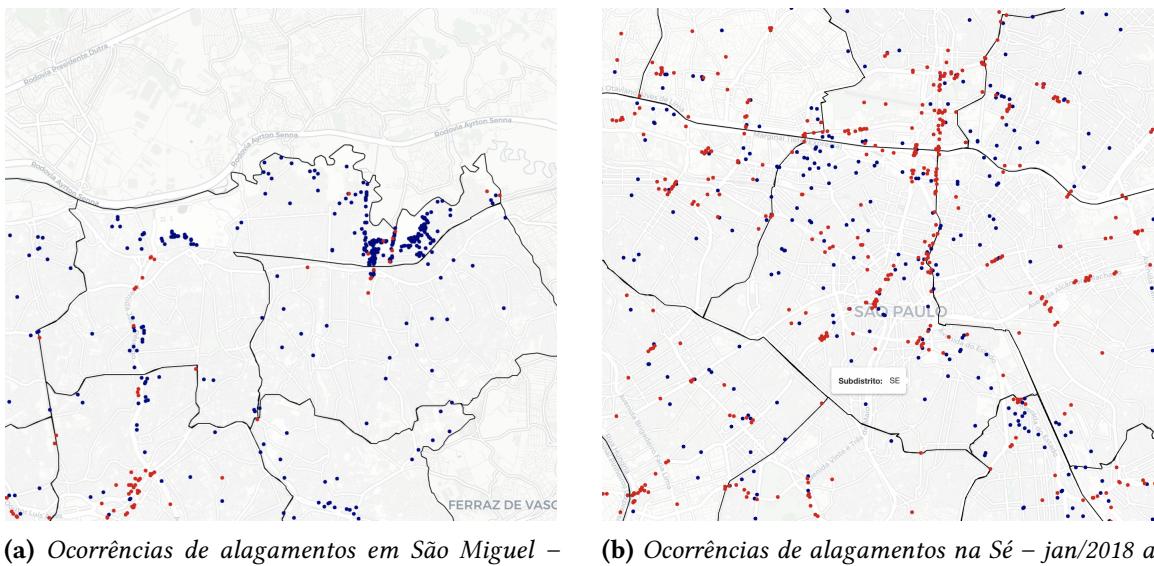


Figura 3.2: Comparação das ocorrências de alagamentos entre as subprefeituras São Miguel e Sé.

No banco de dados da Pesquisa OD, a região da Sé está classificada como parte da Zona Central da cidade. Essa zona inclui também áreas das subprefeituras de Pinheiros, Mooca, Lapa e Vila Mariana. Por esse motivo, a análise e a simulação consideram as ocorrências de alagamentos e as viagens de toda essa região ampliada, ilustrada na Figura 3.3. Essa ampliação é vantajosa, pois inclui não apenas as viagens que começam ou terminam na Sé, mas também aquelas que atravessam a subprefeitura, oferecendo uma visão mais completa do impacto dos alagamentos sobre a mobilidade central da cidade. A Pesquisa OD 2023 indica que essa área produz e atrai mais de 12,4 milhões de viagens, reforçando seu papel central na mobilidade paulistana.

| Região | Total de viagens |
|-----------------|------------------|
| São Miguel | 1.221.454 |
| Sé | 3.291.606 |
| Centro ampliado | 12.429.227 |

Tabela 3.3: Total de viagens diárias produzidas e atraídas nas regiões analisadas.

A Zona Central de São Paulo concentra uma grande diversidade de vias e modais de transporte (avenidas, ruas, ciclovias, linhas de metrô e corredores de ônibus) e também abriga parte significativa da atividade econômica da capital, com forte presença de comércios, serviços e equipamentos públicos. Essa combinação faz da Sé uma região estratégica para a análise da relação entre alagamentos e mobilidade urbana. Apesar dessa diversidade de meios de transporte que existem na região, o presente trabalho considera apenas as viagens realizadas por automóvel. Essa escolha tem como objetivo simplificar a modelagem inicial no simulador e concentrar a análise nos efeitos diretos dos alagamentos sobre o tráfego viário.

3.3 | CONSTRUÇÃO DOS ARQUIVOS DE ENTRADA

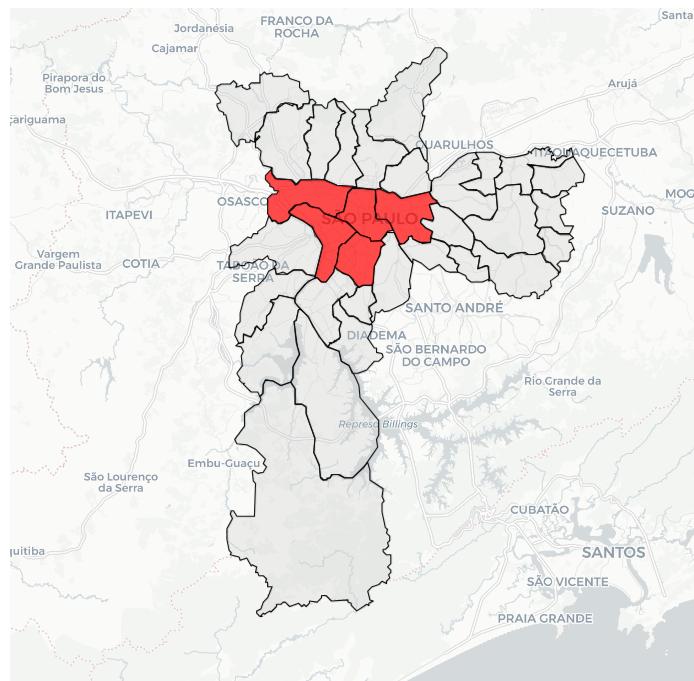


Figura 3.3: Região de simulação: Zona Central de São Paulo ampliada.

3.3 Construção dos arquivos de entrada

Nessa seção, descrevemos como os dados introduzidos anteriormente foram manipulados e organizados de forma que o InterSCsimulator pudesse ler e trabalhar as informações. Com esse objetivo, a solução desenhada é composta de um arquivo `rain.csv` que detalha a quantidade de precipitação ao decorrer do período da simulação e um outro arquivo `roads-rain-capacity.csv` que detalha a capacidade pluviométrica comportada pelas vias do mapa. Esse segundo, é feito a partir do cruzamento dos registros de alagamentos com os registros de pluviometria. As Listagens 3.1 e 3.2 exemplificam o formato desses arquivos, que serão explicados adiante.

1;1.8
3600;1.2
7200;1.0
10800;24.8
14400;25.4
18000;11.6

Listagem 3.1: Exemplo de um arquivo rain.csv.

CV EVARISTO COMOLATTI;3595;2390993860;2225397467;27.4
R ROCHA;7643;4350117963;4350117967;33.0
MARGINAL TIETE CENTRAL;9510;25876617;25876402;33.8

Listagem 3.2: Exemplo de um arquivo *roads-rain-capacity.csv*.

Como mencionado anteriormente, o CGE fornece a milimetragem diária de chuva de cada subprefeitura. Essa granularidade em específico comprometeria tanto a precisão e

veracidade dos valores de capacidade das vias, quanto impossibilitaria de realizar uma simulação mais realista. Isso porque uma chuva constante ao longo de várias horas ou um temporal momentâneo podem gerar a mesma quantidade de chuva ao fim do dia. Também, dependendo do momento do dia, a chuva pode ter impactos diferentes na mobilidade urbana, o relatório da Pesquisa OD mostra que às 17h o número de viagens iniciadas da RMSP mais que triplica em relação às 10h.

Os dados do INMET possuem granularidade horária, o que soluciona as questões apresentadas acima. Contudo, a estação meteorológica do INMET está localizada em Santana-Tucuruvi, a aproximadamente 7 km da subprefeitura da Sé. Devido a distância, nessa etapa, verificamos a viabilidade de usar os registros do INMET no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

O mapa da Figura 3.4, ilustra o coeficiente de correlação de Pearson² calculado entre os dados de pluviometria do CGE de cada subprefeitura e a soma diária dos dados da estação do INMET. Os dados usados abrangem o período de janeiro de 2018 a novembro de 2024, em dias em que pelo menos uma das estações registrou pluviometria. O coeficiente de Pearson varia de 0 a 1, conforme a Tabela 3.4 obtida de SCHOBER *et al.*, 2018.

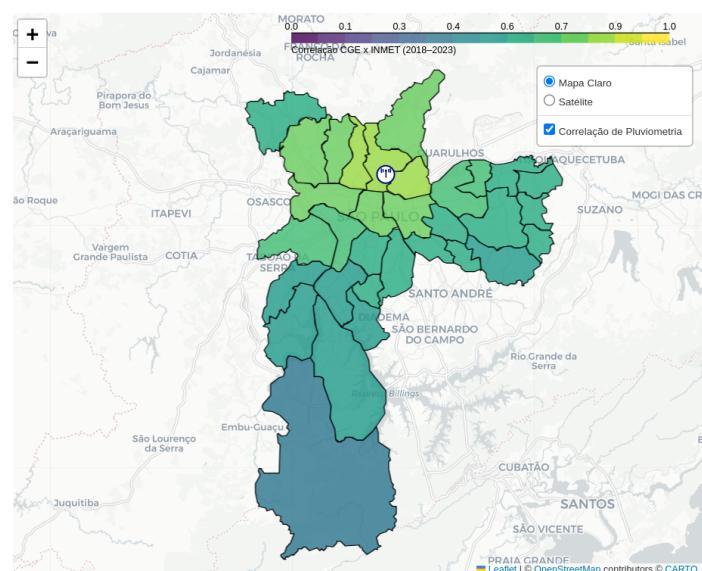


Figura 3.4: Correlacao de pluviometria entre o CGE e o INMET

| Coeficiente de Pearson | Interpretação |
|-------------------------------|---------------------------|
| 0,00 – 0,09 | Correlação insignificante |
| 0,10 – 0,39 | Correlação fraca |
| 0,40 – 0,69 | Correlação moderada |
| 0,70 – 0,89 | Correlação forte |
| 0,90 – 1,00 | Correlação muito forte |

Tabela 3.4: Interpretação dos coeficientes de correlação de Pearson

² O coeficiente de correlação de Pearson mede a intensidade e a direção da relações linear entre variáveis.

É possível observar que as subprefeituras mais próximas à estação do INMET apresentam maiores coeficientes de correlação. Conforme esperado, Santana-Tucuruvi tem o maior valor 0,82, uma correlação forte. Dessa forma, a comparação e o uso das duas fontes de dados faz sentido principalmente nas regiões próximas à estação do INMET. Em particular, temos interesse na subprefeitura da Sé cujo coeficiente é 0,74, também considerado uma correlação forte.

Como a pluviometria horária evidencia com mais precisão os eventos de chuvas e alagamentos do que a pluviometria diária e os históricos do INMET e CGE possuem uma forte correlação para a Sé, justifica-se usar os dados do INMET como referência nas etapas posteriores.

3.3.1 Chuvas e capacidade das vias

Inicialmente, devemos disponibilizar ao InterSCSimulator a série temporal de volumes de chuva que servirá de base para a simulação. Isso é feito passando um arquivo de entrada no formato csv com essa descrição, chamado aqui de `rainfall.csv`. A primeira coluna desse arquivo corresponde a quantos segundos se passaram desde o início da simulação e a segunda coluna descreve a pluviometria em milímetros do intervalo de tempo entre a sua entrada e a anterior.

A Listagem 3.1 descreve a pluviometria horária em 5 horas de simulação. O arquivo `rainfall.csv` foi gerado a partir de um script em Python implementado especificamente para processar os dados brutos do INMET e convertê-los para o formato aceito pelo simulador.³

Além desse arquivo, o simulador também requer um arquivo `trips.xml`, responsável por descrever as viagens que ocorrem durante a simulação. Esse arquivo já era parte do conjunto de entradas padrão do InterSCSimulator. Para gerar um novo `trips.xml` com as viagens da região de análise, foi desenvolvido o script `pesquisaOD-to-trips-xml.ipynb`,⁴ que utiliza como entrada o banco de dados da Pesquisa OD e o grafo da cidade (`map.xml`, do OpenStreetMap). O script filtra as viagens que possuem origem ou destino dentro da região estudada, identifica os nós correspondentes no grafo e constrói o arquivo `trips.xml` no formato esperado pelo simulador. Cada viagem registrada nesse arquivo contém o nó de origem, o nó de destino, o identificador da aresta de origem, a quantidade de viagens representadas por aquela entrada e o horário de início da viagem.

Agora, precisamos informar a simulação em relação a capacidade pluviométrica das vias para acionar o efeito de alagamento nela no momento adequado (explicado na Seção 4.1). Procura-se obter a partir das fontes de dados um limite de pluviometria para cada via que quando ultrapassado, a via em questão é alagada.

A meteorologista do INMET Marlene Real disse, em entrevista ao Portal Multiplix (M. OLIVEIRA, 2021), que a intensidade da chuva está relacionada ao seu tempo de duração, podendo ser classificada como o seguinte:

- Até 0,1mm/m: chuvisco

³ Disponível em: [INSERIR LINK]

⁴ Disponível em: [INSERIR LINK]

- De 0,2mm/h a 9,9mm/h: chuva fraca
- De 10mm/h a 19mm/h: chuva moderada
- De 20mm/h a 60mm/h: chuva forte

A partir dessa especificação, desconsideraremos para a análise subsequente as ocorrências com menos de 5mm de chuva acumulados nas últimas 10 horas anteriores ao evento.

Para definir o limite de pluviometria das vias da região da Sé, analisamos os índices pluviométricos nos horários próximos aos que foram apurados nas ocorrências de alagamentos. Aqui consideramos apenas os registros da CET de 2023, pois são os únicos que dispõem de horário de início e término da interdição.

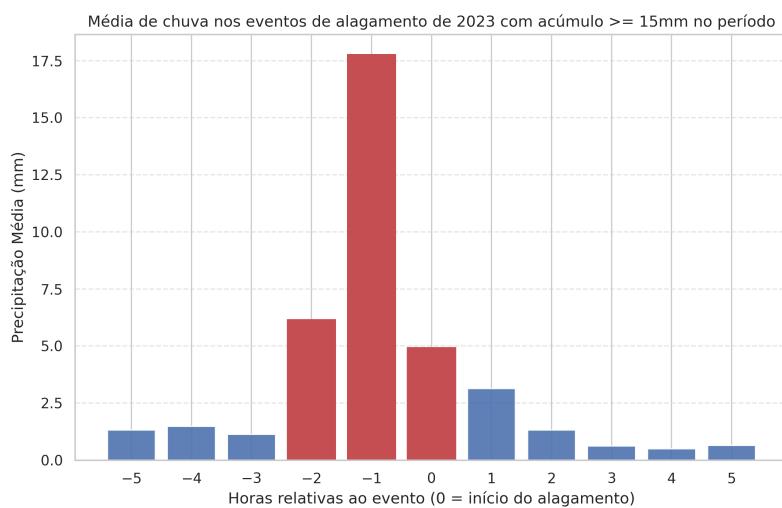


Figura 3.5: Média de chuva nas 5 horas anteriores e posteriores ao início da interdição por alagamento

A Tabela 3.5 traz a relação do momento em que a chuva forte começou em relação ao início do evento de alagamento. A partir dela e do gráfico na Figura 3.5, é razoável escolher para cada evento o volume de chuva acumulado no intervalo da 2^a hora anterior até o horário do evento como o índice de causa do alagamento, já que 71,4% das ocorrências com chuva relevante se incluem nesse período.

| Início da chuva forte | Quantidade de eventos |
|------------------------------|-----------------------|
| Na hora do evento | 5,7% |
| 1 ^a hora anterior | 48,6% |
| 2 ^a hora anterior | 17,1% |
| 3 ^a hora anterior | 1,0% |
| 4 ^a hora anterior | 1,9% |
| 5 ^a hora anterior | 3,8% |

Tabela 3.5: Porcentagem de eventos com chuva relevante por intervalo de tempo

Para as vias em que houveram alagamentos mas não foram contempladas devido a não terem o registro horário, usaremos como limite de pluviometria o maior valor da soma

3.3 | CONSTRUÇÃO DOS ARQUIVOS DE ENTRADA

deslizante de 3 horas no dia da ocorrência. Portanto, a capacidade pluviométrica de uma rua será o menor limite obtido dentre as ocorrências de alagamento observadas.

Finalmente, montamos o arquivo `roads-rainfall-capacity.csv` (Listagem 3.2), onde:

- A primeira coluna é o nome da rua. Esse parâmetro não é utilizado na simulação, mas torna o arquivo mais amigável para seres humanos.
- A segunda coluna é o id da aresta equivalente a via no grafo do mapa.
- A terceira e quarta coluna são os id's dos nós equivalentes ao início e fim da via no grafo do mapa, respectivamente.
- A quinta coluna é a capacidade pluviométrica da via.

Toda aresta não inclusa nesse arquivo é tratada como se não alagasse, independentemente da quantidade de chuva. No repositório deste trabalho disponibilizamos o arquivo `roads-rainfall-capacity-se.csv` para as estradas da região da Sé.

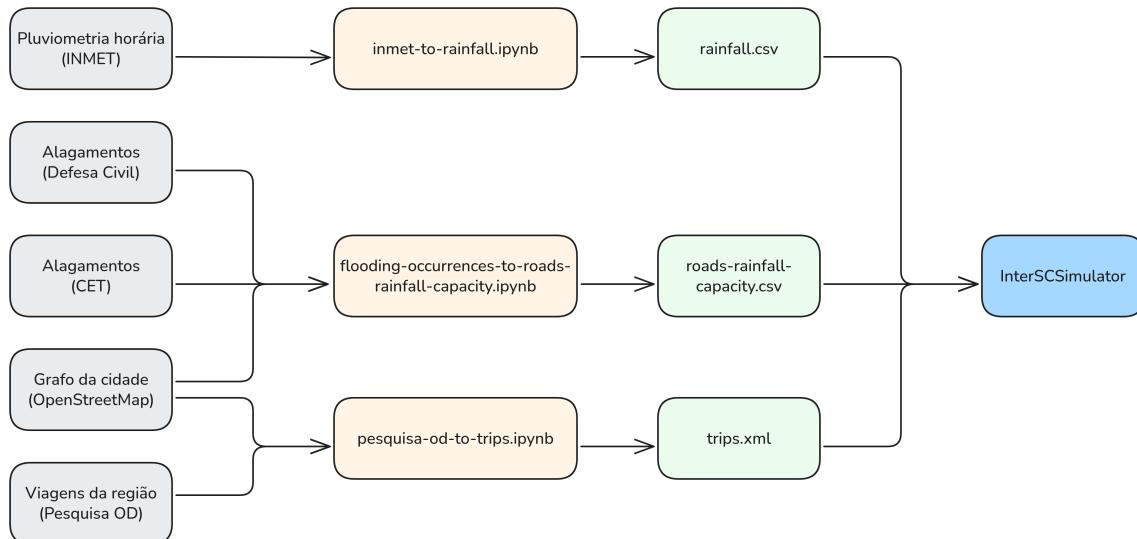


Figura 3.6: Fluxo de processamento dos dados para o `InterSCSimulator`.

Com todas as informações preparadas — incluindo o volume de chuva processado por meio do arquivo `rainfall.csv` e a definição da capacidade pluviométrica das vias no arquivo `roads-rainfall-capacity.csv` — concluímos a etapa de análise e estruturação dos dados necessários para a simulação. A partir daqui, avançamos para a próxima fase do trabalho, na qual implementamos as adaptações do `InterSCSimulator` que permitem representar os efeitos dos alagamentos na mobilidade urbana da cidade.

Capítulo 4

O InterSCSimulator

To-do

4.1 Gerenciador de eventos

Capítulo 5

Resultados e Análise

To-do

Capítulo 6

Conclusão

To-do

Referências

- [ANTUNES 2010] Fatima ANTUNES. *As enchentes na história de São Paulo*. Out. de 2010. URL: https://prefeitura.sp.gov.br/web/cultura/w/patrimonio_historico/ladeira_memoria/8385#:~:text=As%20enchentes%20que%20ocorrem%20em,gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20el%C3%A9trica%20implantado..
- [ASQUINO 2009] Marcelo Sacenco ASQUINO. “Infra-estrutura e planejamento na Metrópole de São Paulo: entre as escalas regionais e o impacto local”. Tese de dout. São Paulo, Brasil: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2009. URL: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16133/tde-15032010-153947/publico/M_ASQUINO_tese.pdf (citado na pg. 3).
- [CARDOSO 2019] Juliana Mitsuyama CARDOSO. “Efeitos da chuva e da luminosidade sobre o tráfego em rodovias paulistas”. Diss. de mestr. São Paulo, Brasil: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2019. URL: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-20022020-145053/publico/DissertCardosoJulianaMitsuyamaCorrig.pdf> (citado na pg. 5).
- [CARNEIRO e JESUS 2020] Rizia CARNEIRO e Valéria C. M. de JESUS. “Desafios à gestão da mobilidade urbana no Brasil: a política de transporte público e os impactos socioespaciais do Plano Diretor de São Paulo (2014-2029)”. *Revista Continentes* 9.16 (jan. de 2020), pp. 119–142. doi: [10.22484/rc.2020.16.899](https://dx.doi.org/10.22484/rc.2020.16.899). URL: <http://dx.doi.org/10.22484/rc.2020.16.899>.
- [CARVALHO 2021] Raissa Barreto de CARVALHO. “ANÁLISE DE CHUVAS EXTREMAS E A RELAÇÃO COM EVENTOS DE ALAGAMENTOS NA CIDADE DE SÃO PAULO – SP”. Diss. de mestr. São José dos Campos, Brasil: Universidade Estadual Paulista, 2021. URL: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/693bec9d-90c9-4bf9-b3de-7daa0dd68205/content> (citado na pg. 4).
- [CASTRO e ALVIM 2022] Afonso Celso Vanoni de CASTRO e Angélica Tanus Benatti ALVIM. “Urbanização e gestão de riscos hidrológicos em são paulo”. *Cadernos Metrópole* 24.54 (mai. de 2022), pp. 669–696. ISSN: 2236-9996. doi: [10.1590/2236-9996.2022-5410](https://doi.org/10.1590/2236-9996.2022-5410). URL: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2022-5410>.
- [CEMADEN 2016] CEMADEN. *Inundação*. Mai. de 2016. URL: <http://www2.cemaden.gov.br/inundacao/> (citado na pg. 4).

- [CENTRO DE GERENCIAMENTO DE EMERGÊNCIAS CLIMÁTICAS (CGE) 2010] CENTRO DE GERENCIAMENTO DE EMERGÊNCIAS CLIMÁTICAS (CGE). *Boletim Pluviométrico*. Acessado em: out. 2025. 2010. URL: https://arquivos.saisp.br/nextcloud/index.php/s/qikdinFyAM33MJK?path=%2FBOLETIM_PLUVIOMETRICO.
- [COLL 2020] Liana COLL. *A estreita relação entre mudanças climáticas e o aumento de eventos extremos*. Fev. de 2020. URL: https://unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2020/02/27/estreita-relacao-entre-mudancas-climaticas-e-o-aumento-de-eventos-extremos/#:~:text=JU%20menu%20superior%20*%20Arte%20%5C&%20Cultura.%20*%20Atualidades. (citado na pg. 4).
- [COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO 2023] COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. *Pesquisa Origem Destino* 2023. Acessado em: out. 2025. 2023. URL: https://www.metro.sp.gov.br/pt_BR/pesquisa-od/.
- [FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA 2024] FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. *Plano Diretor de Drenagem - PDD: Plano de Ações*. 2^a ed. ISBN 978-65-89429-18-0. São Paulo: FCTH/SIURB, 2024. URL: https://drive.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/obras/arquivos/FCTH_Plano_de_Acoes_PDD_2ed.pdf.
- [INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET) 2000] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)*. Acessado em: out. 2025. 2000. URL: <https://bdmep.inmet.gov.br/>.
- [JACOBI 2000] Pedro JACOBI. “Do centro à periferia: meio ambiente e cotidiano na cidade de são paulo”. *Ambiente & Sociedade* 6-7 (jan. de 2000), pp. 145–162. ISSN: 1414-753X. DOI: [10.1590/S1414-753X2000000100007](https://doi.org/10.1590/S1414-753X2000000100007) (citado na pg. 4).
- [NOBRE e YOUNG 2011] Carlos A. NOBRE e Andrea F. YOUNG, ed. *Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo*. Relatório Final. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2011. URL: https://www.nepo.unicamp.br/publicacoes/relatorio-final/megacidades_RMSP.pdf.
- [NONA s.d.] Marcos NONA. *Priorizar transporte coletivo é solução para mobilidade em SP*. URL: <https://sites.usp.br/prp/2930> (citado na pg. 3).
- [O ESTADO DE S. PAULO 2013] O ESTADO DE S. PAULO. “O caminho da transformação”. *O Estado de S. Paulo* (jan. de 2013). Caderno Metrópole. Data: 11 de janeiro de 2013, A18–A23. URL: <https://www.scielo.br/j/ea/a/xM3HNxRtNM5RqtjttKjxgJb/?format=pdf&lang=pt>.

REFERÊNCIAS

- [J. C. F. F. d. OLIVEIRA *et al.* 2024] João C. F. F. de OLIVEIRA, Luiz M. F. de OLIVEIRA, André L. M. V. de OLIVEIRA, Cristiano C. QUARESMA e Herman P. P. F. de OLIVEIRA. “Developing a Conceptual Model to Evaluate Flood Resilience in Brazilian Smart Cities”. *Smart Cities* 7.1 (dez. de 2024), p. 22. doi: [10.3390/smartcities7010022](https://doi.org/10.3390/smartcities7010022). URL: <https://doi.org/10.3390/smartcities7010022>.
- [M. OLIVEIRA 2021] Matheus OLIVEIRA. *Meteorologista do Inmet explica como classificar a intensidade das chuvas*. Portal Multiplix. 2021. URL: <https://www.portalmultiplix.com/noticias/cotidiano/meteorologista-do-inmet-explica-como-classificar-a-intensidade-das-chuvas> (acesso em 15/08/2025) (citado na pg. 13).
- [OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS 2024] OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS. *OpenStreetMap*. Acessado em: out. 2025. 2024. URL: <https://www.openstreetmap.org/>.
- [PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC) 2008] PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). *Mudanças Climáticas 2007: Síntese do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC*. Tradução e adaptação da versão original de 2007. Brasília, Brasil: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2008. ISBN: 978-85-7785-060-6. URL: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/IPCC_mudanca2.pdf (citado na pg. 4).
- [PILOTTO 2006] Angela Seixas PILOTTO. “Mobilidade Urbana: Uma análise das propostas do Plano Diretor 2002 e da percepção dos cidadãos sobre a mobilidade em São Paulo”. Diss. de mestr. São Paulo, Brasil: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2006. URL: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16137/tde-11012024-170835/publico/ME_ANGELASEIXASPILOTTO_rev.pdf.
- [PREFEITURA DE SÃO PAULO 2013] PREFEITURA DE SÃO PAULO. *GeoSampa – Mapa Digital da Cidade de São Paulo*. Acessado em: out. 2025. 2013. URL: <https://metadados.geosampa.prefeitura.sp.gov.br/geonetwork/intranet/por/catalog.search#/metadata/432c06b1-03a1-4b1f-9210-423e1b58e869>.
- [RODRIGUES *et al.* 2023] Maria Santiellas Costa RODRIGUES, Cristiano Capellani QUARESMA e Rodrigo Kuester PEREIRA. “Desafios à adoção de Soluções Baseadas na Natureza no combate às inundações urbanas na cidade de São Paulo, SP, Brasil”. In: *Anais do XX Encontro Nacional da ANPUR (ENANPUR)*. Acessado em: nov. 2025. 2023. URL: <https://anpur.org.br/wp-content/uploads/2023/05/st04-21.pdf>.
- [SÃO PAULO 2025] Prefeitura de SÃO PAULO. *Obras reforçam o combate a alagamentos e áreas de risco em São Paulo*. Set. de 2025. URL: https://prefeitura.sp.gov.br/web/obras/w/obras-refor%C3%A7am-o-combate-a-alagamentos-e-%C3%A1reas-de-risco-em-s%C3%A3o-paulo#:~:text=Infraestrutura%20Urbana%20e%20Obras%20*%20Infraestrutura%20Urbana,e%20%C3%A1reas%20de%20risco%20em%20s%C3%A3o%20paulo. (citado na pg. 5).

- [SCHOBER *et al.* 2018] Patrick SCHOBER, Christa BOER e Lothar A. SCHWARTE. “Correlation coefficients: appropriate use and interpretation”. *Anesthesia & Analgesia* 126.5 (2018), pp. 1763–1768. doi: [10.1213/ANE.0000000000002864](https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864). URL: https://journals.lww.com/anesthesia-analgesia/fulltext/2018/05000/correlation_coefficients_appropriate_use_and.50.aspx (citado na pg. 12).
- [M. F. d. SILVA *et al.* 2024] Moisés Figueiredo da SILVA, Leonardo de Souza MODERO, Luciano Henrique TRINDADE e Antônio Pires BARBOSA. “RESILIENCIA URBANA E DIREITO À CIDADE: A DEFESA CIVIL COMO FATOR ESTRUTURAL EM CIDADES INTELIGENTES”. *Revista ARACÊ* 6.3 (2024), pp. 6478–6501. doi: [10.56238/arev6n3-131](https://doi.org/10.56238/arev6n3-131). URL: <https://doi.org/10.56238/arev6n3-131> (citado na pg. 3).
- [V. C. d. SILVA 2002] Vanderli Custódio da SILVA. “Deslocamentos na Região Metropolitana de São Paulo: Uma análise sobre a correlação entre uso do solo e transporte”. Tese de dout. Rio Claro, Brasil: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2002 (citado na pg. 4).
- [WORLD POPULATION REVIEW 2025] WORLD POPULATION REVIEW. *Largest Cities by Population 2025*. Acessado em: nov. 2025. 2025. URL: <https://worldpopulationreview.com/cities> (citado na pg. 3).
- [YULITA 2023] Enzo Gonçalves YULITA. “Mobilidade urbana: uma análise sobre a correlação entre densidade demográfica e o uso de transporte público no município de São Paulo”. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Diss. de mestr. São Paulo, Brasil: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2023. URL: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08032024-100519/publico/EnzoGoncalvesYulitaCorr23.pdf>.
- [ZIONI *et al.* 2024] Silvana ZIONI, Thiago Von Zeidler GOMES e Priscila da Mota MORAES. “Freio de arrumação para a mobilidade urbana paulistana”. *Estudos Avançados* 38.111 (2024), pp. 115–133. ISSN: 0103-4014. doi: [10.1590/s0103-4014.202438111.007](https://doi.org/10.1590/s0103-4014.202438111.007). URL: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.202438111.007> (citado na pg. 3).

Índice remissivo

| | |
|--|-----------|
| C | trangeira |
| Captions, <i>veja</i> Legendas | |
| Código-fonte, <i>veja</i> Floats | |
| E | |
| Equações, <i>veja</i> Modo matemático | |
| F | |
| Figuras, <i>veja</i> Floats | |
| Floats | |
| Algoritmo, <i>veja</i> Floats, ordem | |
| Fórmulas, <i>veja</i> Modo matemático | |
| I | |
| Inglês, <i>veja</i> Língua estrangeira | |
| P | |
| Palavras estrangeiras, <i>veja</i> Língua es- | |
| R | |
| Rodapé, notas, <i>veja</i> Notas de rodapé | |
| S | |
| Subcaptions, <i>veja</i> Subfiguras | |
| Sublegendas, <i>veja</i> Subfiguras | |
| T | |
| Tabelas, <i>veja</i> Floats | |
| V | |
| Versão corrigida, <i>veja</i> Tese/Dissertação, versões | |
| Versão original, <i>veja</i> Tese/Dissertação, versões | |