

**LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO, ESTUDO DE MICROBACIA
HIDROGRÁFICA E ANÁLISES DE SOLO PARA SOLUCIONAR UM PROBLEMA
DE INUNDAÇÃO NA AV. BRASÍLIA, SÃO JOÃO DA BOA VISTA - SP: ESTUDO DE
CASO**

TOPOGRAPHIC SURVEY, HYDROGRAPHIC MICROBAIN STUDY AND SOIL
ANALYSIS TO SOLVE A FLOOD PROBLEM IN AV. BRASÍLIA, SÃO JOÃO DA BOA
VISTA - SP: CASE STUDY

FERNANDES, Bruno Henrique Rovaron¹; FILHO, José Eduardo Castro¹; RIBEIRO,
Leonardo Melchiori¹; SILVA, Maxuel¹; DIOGO, Samuel Rodrigo Matielo¹; SALDAÑA,
Edwin Antônio Aranda²; SOUZA, Carlos Alberto Collozzo².

¹ Graduando do Curso de Engenharia Civil - UNIFEOP

² Docente do Curso de Engenharia Civil - UNIFEOP

RESUMO - As enchentes e inundações representam um dos principais fenômenos naturais que atingem comunidades urbanas e até mesmo rurais. Este fenômeno é ocasionado frequentemente por chuvas fortes e rápidas e chuvas intensas de longa duração. Este trabalho tem como objetivo analisar os fatores topográficos, como a altimetria, fatores hidrológicos como a precipitação das chuvas, análise da bacia hidrográfica da área em questão, e fatores geotécnicos através de análises de solo para verificar o motivo no qual uma determinada área na cidade de São João da Boa Vista - SP, (-21.97978304213211, -46.78532852932856) sofre com alagamentos frequentes. Trata-se de um estudo de caso, de abordagem quantitativa onde foram coletados dados e amostras do local. A partir destas informações, foram feitos ensaios em laboratórios e também levantamentos através de softwares para entender o motivo no qual esse fenômeno acontece naquela região.

Palavras-chave: Enchentes, Topografia, Hidrologia, Geotécnica, Estudo de Caso.

ABSTRACT. Floods and inundations represent one of the main natural phenomena that serve urban and even rural communities. This phenomenon is occasional by heavy and intense rains of long duration. This objective work is to analyze the topographical factors, as all the hydrological factors as the reasons of the hydrographic rains, analysis of the analysis of the hydrographic basin of the problem area through any geotechnical factor to verify the city. de São João da Boa Vista - SP, (-21.97978304213211, -46.78532852932856) suffers from frequent flooding. This is a study study, where data and site analysis were analyzed. Based on this information, tests were carried out in laboratories and also surveyed through software to understand the reason why no phenomenon occurs in that region.

Keywords: Floods, Topography, Hydrology, Geotechnics, Case Study.

INTRODUÇÃO

As ciências como a Topografia, Hidrologia e Geotécnica são de grande importância para compreendermos algumas situações e através deste entendimento, propor e executar possíveis soluções. De acordo com PINTO (1976), a hidrologia é a ciência que trata o estudo da água na natureza, assim como fenômenos hidrológicos como as chuvas, o escoamento dos rios e também fenômenos catastróficos como as grandes cheias. Desta forma, a hidrologia tem um importante papel para complementar os conhecimentos sobre os recursos hidráulicos para que seja possível obter o melhor aproveitamento dele.

Além da hidrologia, temos uma outra ciência muito importante que estuda o solo, chamada Mecânica dos Solos ou Geotécnica. De acordo com PINTO (2006), a Mecânica dos Solos estuda o comportamento dos solos, quanto a tensões aplicadas ou aliviadas, ou perante o escoamento de água nos seus vazios.

Outra ciência muito importante que serve como base para entendermos os motivos nos quais ocorrem as enchentes e alagamentos é a Topografia. Conforme BORGES (2013), a topografia é a ciência que estuda o relevo do solo, suas elevações e depressões. Através dela também é possível encontrar a diferença de nível entre dois pontos.

Para unir todos os dados e chegar em um resultado, fazemos o uso da matemática em suas mais diversas aplicações. Utilizando conceitos e aplicações da Geometria Analítica e da Álgebra Linear, é possível trabalhar com a grandeza distância, utilizando pontos de referência e trabalhando coordenadas de qualquer ponto deste intervalo. Além disso, qualquer objeto matemático, figura geométrica ou forma pode ser representado geometricamente por um desenho e algebricamente por uma fórmula. A partir destas representações, podemos obter dados que vão servir de base para o nosso estudo. (MUNDO EDUCAÇÃO, s.d)

Inundações, alagamentos e enchentes são desastres naturais que além de muito frequentes, causam grandes danos materiais. As inundações em áreas urbanas no Brasil têm se intensificado e tornado mais frequentes a cada ano, devido a crescente impermeabilização dos solos para atender o crescimento populacional e urbano e devido também a fatores topográficos, geotécnicos e hidrológicos da região. Redes de drenagem são uma das possíveis soluções que visam minimizar o problema das enchentes, através do direcionamento da água até um ponto de descarga. Porém, este tipo de sistema possui uma vazão máxima de transporte, que caso seja excedida, causa o colapso da rede acarretando em uma nova ocorrência de enchente. (IPEA,2020)

Fazendo a integração destas quatro áreas de estudos e relacionando-as, este trabalho tem como **objetivo** analisar dados e amostras relacionadas às disciplinas citadas acima, e através do resultado, propor uma possível solução para o problema de alagamento que acontece na Avenida Brasília (Próximo ao supermercado Big Bom), no município de São João da Boa Vista, São Paulo.

METODOLOGIA

Para a execução do estudo de caso, a fim de alcançar o objetivo proposto, definimos as etapas da pesquisa conforme fluxograma abaixo:

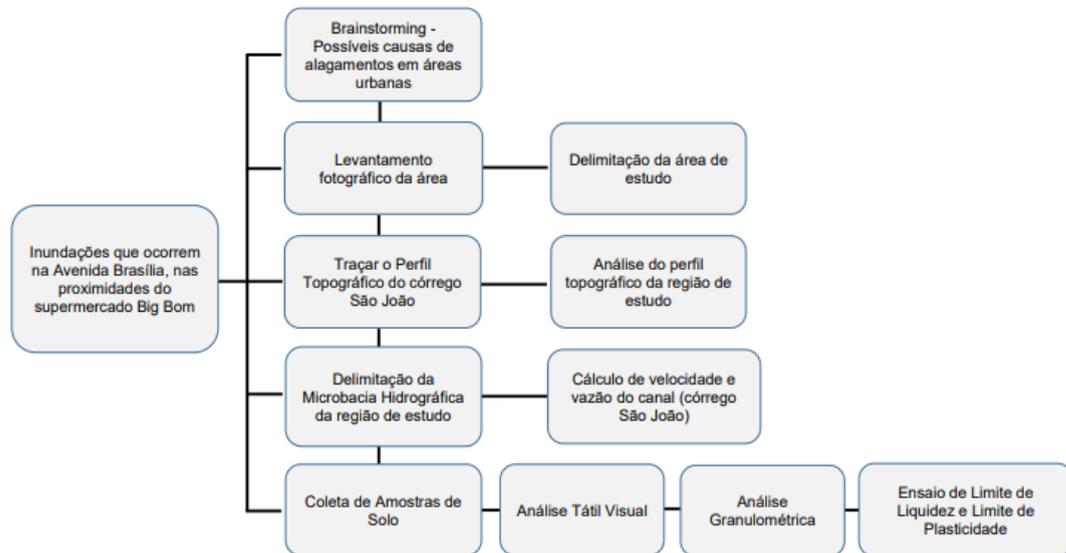


Figura 1: Fluxograma das etapas do estudo de caso - (Fonte: Próprios Autores)

Durante o semestre letivo, do módulo de Solos e Topografia, foram nos dadas ferramentas e conteúdo para analisar as causas que contribuíram para o problema das inundações, sejam elas em qualquer lugar do mundo, inclusive na nossa área de estudo, que é a Avenida Brasília, nas proximidades do Supermercado Big Bom. A partir disso, aplicamos todo o conceito teórico neste estudo, para além de aprofundar o conhecimento adquirido e ter uma vivência real das disciplinas, poder analisar um problema existente, que afeta uma parte da população da cidade de São João da Boa Vista, e propor possíveis soluções.

Brainstorming - Possíveis causas de alagamentos em áreas urbanas:

A primeira etapa deste estudo foi elaborar um brainstorming para analisar no geral quais são as possíveis causas de alagamentos em áreas urbanas. Na primeira etapa do brainstorming, coletamos todas as ideias, sem nenhum critério de rejeição, pois nesta parte, é importante absorver o maior número de sugestões possíveis. Na segunda parte, filtramos as ideias coletadas, e através de discussões e abordagens críticas, definimos nosso brainstorming conforme abaixo. Observamos que as inundações e enchentes não são apenas resultados de fatores naturais, como a chuva. Elas refletem também fatores antrópicos (ocupação inadequada, destinação incorreta de resíduos e desmatamento e queimadas), também são

resultado de fatores políticos e econômicos (falta de saneamento básico, falta de planejamento habitacional, ausência de recursos meteorológicos e escassez de recursos públicos).

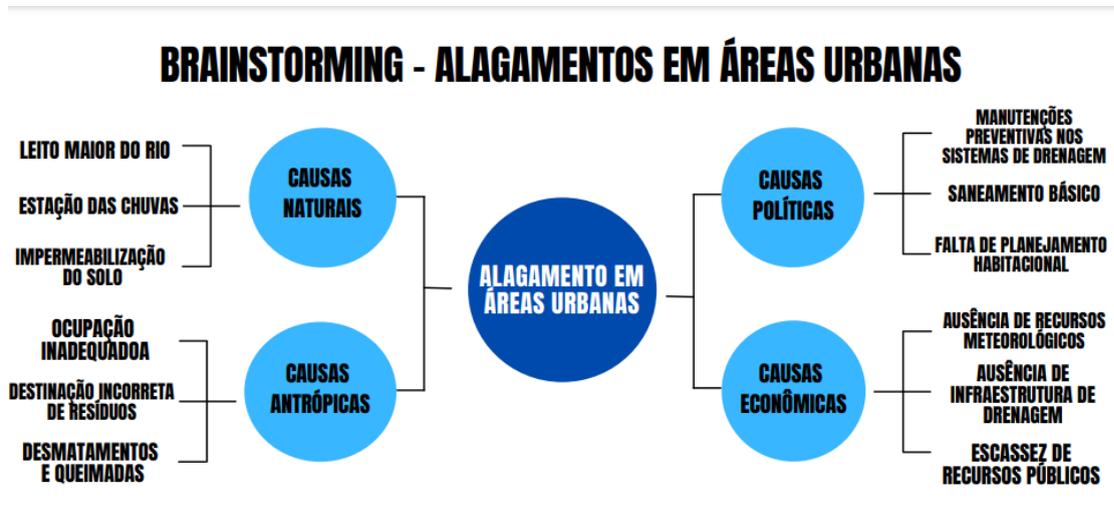


Figura 2: Brainstorming - Alagamentos em áreas urbanas - (Fonte: Próprios Autores)

Levantamento fotográfico da área:

O primeiro passo para conhecer nossa área de estudo foi uma visita no local e um levantamento fotográfico. Na primeira fotografia podemos observar o supermercado Big Bom, no qual o córrego São João transcorre por toda sua extensão. Já na segunda fotografia, temos um trecho da Avenida Brasília, na qual o córrego percorre paralelamente sua extensão.



Figura 3: Supermercado Big Bom - Avenida Brasília. (Fonte: Próprios Autores)



Figura 6: Delimitação da área de estudo. Fonte: Google Earth (Elaborado pelos Próprios Autores)

Traçar o Perfil Topográfico do Córrego São João:

Com o auxílio do Google Earth, conseguimos traçar o perfil topográfico de um determinado trecho do córrego São João, com o intuito de verificar sua declividade que é um fator muito importante para calcular a velocidade de escoamento. Este fator é de extrema importância para justificar os picos de enchente, pois se existe uma declividade muito pequena, ou se a elevação do córrego oscila muito em certos pontos (sobe e desce), o escoamento acaba ficando mais lento, causando assim uma sobrecarga no sistema, ocasionando os alagamentos.

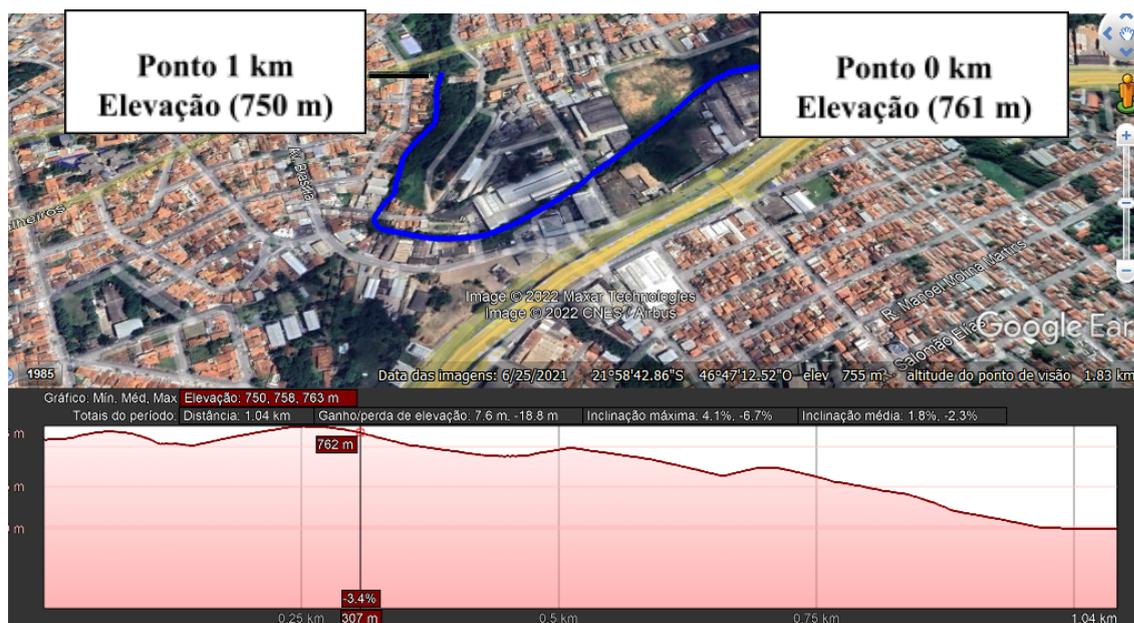


Figura 7: Perfil Topográfico do córrego São João no trecho entre o Big Bom e Avenida Brasília. Fonte: Google Earth (Elaborado pelos Próprios Autores)

Após traçar o perfil de elevação do trecho acima, lançamos os dados em um gráfico para analisar a diferença das altitudes em relação à distância.

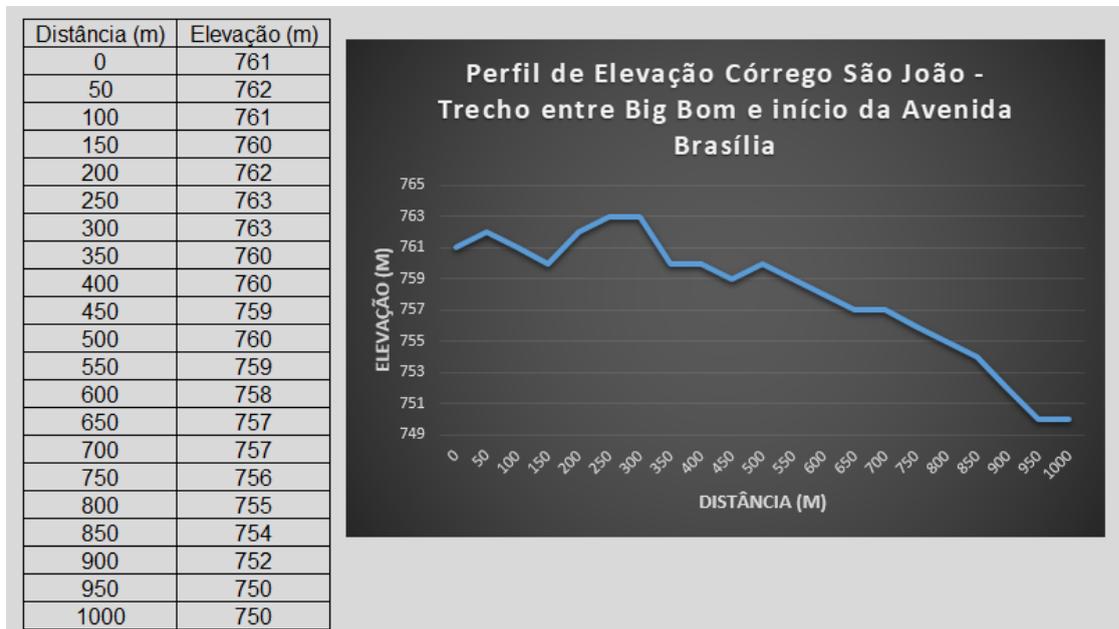


Figura 8: Gráfico - Perfil de Elevação Córrego São João - Trecho entre Big Bom e início da Avenida Brasília. Fonte: Próprios Autores

Conforme o gráfico acima, podemos observar pontos em que a altitude se eleva, fazendo com que a velocidade do escoamento diminua, causando assim uma sobrecarga no sistema, podendo ocasionar inundações. Na análise gráfica, podemos perceber que do ponto de origem até a distância de 350 metros, temos variações de altitudes, que causam lentidão no escoamento da água. A partir dos 350 metros, podemos observar que a altitude começa a diminuir, aumentando assim a declividade e deixando a velocidade de escoamento mais rápida, evitando a sobrecarga do sistema.

Análise do Perfil Topográfico da região de estudo:

Foi disponibilizado pela Prefeitura Municipal de São João da Boa Vista – SP, o levantamento topográfico da região em questão. A partir daí, fizemos a delimitação conforme critério descrito no item “Delimitação da área de estudo” e analisamos a altitude dos pontos da região. Observamos que a região onde os alagamentos ocorrem, é o ponto de altitude mais baixa, sendo assim, a água de todo o entorno escoar para este ponto quando ocorrem chuvas fortes e rápidas ou intensas de longa duração.

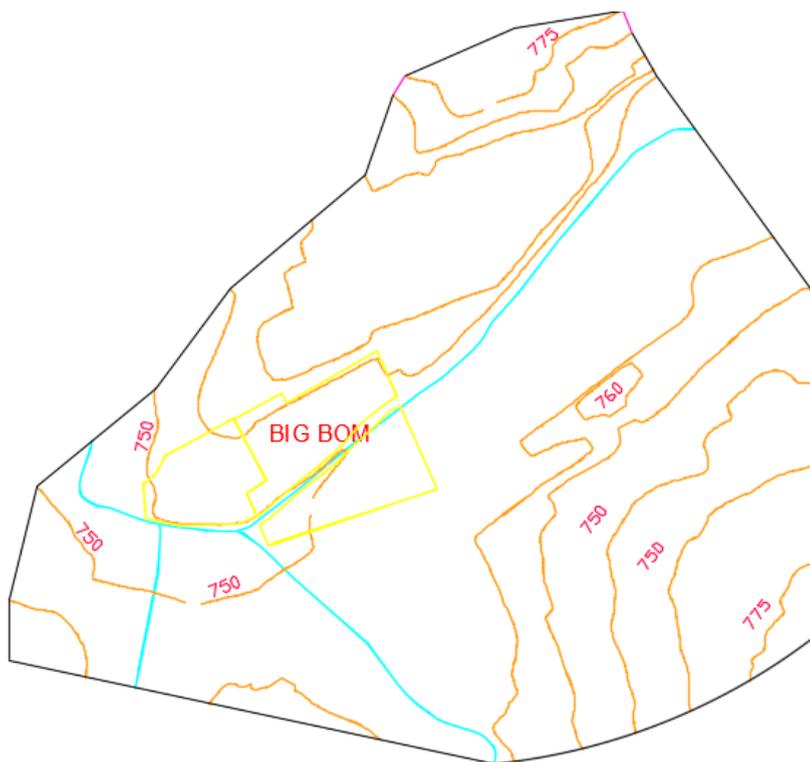


Figura 9: Topografia da Região. Fonte: Prefeitura Municipal de São João da Boa Vista - SP (Adaptado pelos próprios autores).

Delimitação da Micro Bacia Hidrográfica da região de estudo:

Para delimitar a Micro Bacia Hidrográfica, utilizamos o mesmo critério utilizado para determinar a área de estudo, desta forma, utilizaremos a mesma delimitação para ambos os casos, porém, com análises e abordagens diferentes.

Cálculo de velocidade e vazão do canal (Córrego São João)

Após uma visita técnica ao local no dia (29/05/2022), para mensurar o córrego, coletamos as medidas necessárias para calcular o fluxo de água no canal. Observamos que o canal em questão possui a seção retangular. Utilizamos a tabela abaixo para auxiliar nos cálculos:

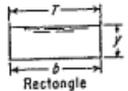
Section	Area A	Wetted perimeter P	Hydraulic radius R	Top width T
 <p>Rectangle</p>	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b

Figura 10: Elementos Geométricos de Seção de Canal. Fonte: adaptado de Chow (1988)

$b = 2,5$ metros

$y = 0,20$ metros

$$\text{Área} = b \cdot y = 2,5 \cdot 0,20 = 0,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro Molhado} = b + 2 \cdot y = 2,5 + (2 \cdot 0,20) = 2,9 \text{ metros}$$

$$\text{Raio Hidráulico (Rh)} = \frac{(b \cdot y)}{b + (2 \cdot y)} = \frac{(2,5 \cdot 0,20)}{2,5 + (2 \cdot 0,20)} = 0,17$$

$n = 0,030$ – Conforme Tabela de Valores do Coeficiente de Rugosidade (CHOW,1959).

$$I = \text{Diferença de nível} / \text{distância} = \frac{(760 - 759)}{200} = 0,005 = 0,5 \%$$

$$Q (\text{Vazão}) = \left(\frac{A}{n} \right) \cdot (\text{Rh}^{2/3}) \cdot (I^{1/2})$$

$$Q = \left(\frac{0,5}{0,030} \right) \cdot (0,17^{2/3}) \cdot (0,005^{1/2}) = 0,3615 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V (\text{Velocidade}) = Q/A = 0,3615 / 0,5 = 0,723 \text{ m/s}$$

Desta forma, temos que a vazão do canal é de $0,3615 \text{ m}^3/\text{s}$, e que a velocidade da água é de $0,723 \text{ m/s}$.

Coleta de amostras de solo:

Foram coletadas amostras de solo em dois pontos do local de estudo: às margens do córrego São João e em baixo do Viaduto Josué Corso Netto (Zico Corso). Foram coletadas cerca de 900 gramas de amostra de solo em cada um dos locais. Desta forma temos que a Amostra 01 foi retirada em baixo do Viaduto e a Amostra 02 foi retirada às margens do córrego São João.

Análise Tátil Visual:

A análise Tátil Visual consiste na realização de alguns métodos para identificar visualmente e tatilmente o tipo de solo que está sendo analisado. Este método é realizado através de cinco etapas. São elas: observação, tátil, sujar as mãos, ensaio de suspensão e shaking test.

Observação:

Nesta primeira etapa, são levados em considerações todos as características visuais das amostras, como por exemplo a coloração de cada material.



Figura 11: Amostra 01



Figura 12: Amostra 02

Neste primeiro contato, observamos as seguintes características:

- A amostra 01 apresenta aspectos semelhantes ao silte, devido a sua coloração e a presença de torrões;
- A amostra 02 apresenta características semelhantes a argila, devido a sua coloração e a sua umidade.

Sujar as Mãos:

Este processo consiste em colocar uma pequena quantidade de amostras nas mãos, acrescentar um pouco de água e esfregar. Logo em seguida, levamos as mãos sob uma torneira e observamos a facilidade e o tempo em que a amostra demora para deixar completamente a superfície.



Figura 13: Ensaio de sujar as mãos - Amostra 01

Observamos que ao esfregar a amostras nas mãos, a mesma teve uma boa aderência, apresentando uma coloração mais forte. Quando colocamos as mãos sob a água, em pouco tempo, ela escoou.



Figura 14: Ensaio de sujar as mãos - Amostra 02

Observamos que a amostra teve uma aderência muito grande nas mãos, e que quando foi submetida sob a torneira, a mesma não escoou, ou seja, ela permaneceu nas mãos.

Ensaio de Suspensão:

Neste procedimento, colocamos as amostras dentro de um tubo de ensaio, e misturamos um pouco. Logo em seguida, podemos observar a sedimentação de cada material, ou seja, quanto tempo demora para acontecer a separação de partículas.



Figura 15: Ensaio de Suspensão - Amostra 01

Após colocar uma pequena quantidade de amostra no tubo de ensaio, misturamos e observamos que a sua sedimentação ocorreu rapidamente, e em torno de alguns minutos, a amostra estava sedimentada quase que totalmente no fundo do recipiente.

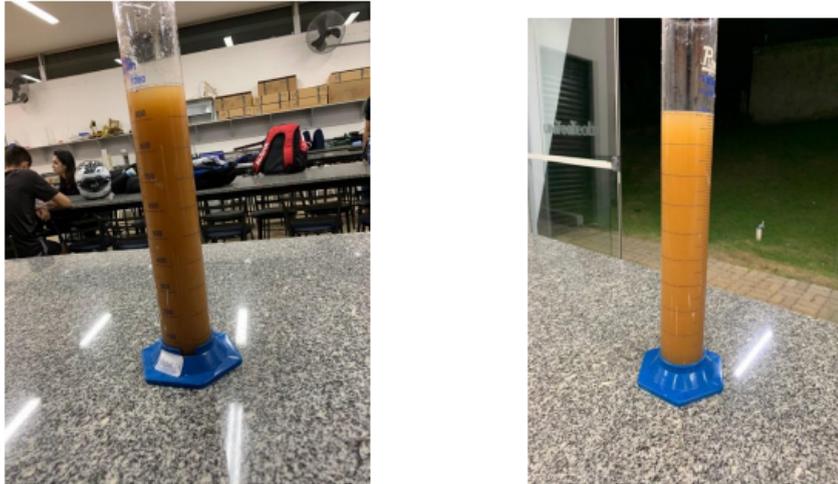


Figura 16: Ensaio de Suspensão - Amostra 02

No ensaio da amostra 2, observamos que a sedimentação ocorreu muito devagar, e que mesmo passando um certo período de tempo, a mesma continuou no seu aspecto inicial.

Shaking Test:

Neste ensaio, colocamos um pouco do material em questão em um recipiente de porcelana, acrescentamos um pouco de água, e misturamos, até que se forme uma “pasta”. Em seguida, colocamos essa pasta na mão e dobramos levemente para observar se existe ou não uma lâmina d’água na superfície.



Figura 17: Shaking Test - Amostra 01

Após colocar o material junto com água em um recipiente de porcelana, e realizar a compactação, o mesmo foi colocado na palma da mão para observarmos se iria formar ou não uma lâmina d’água sobre ele. Observamos que existe a formação de pequenas espumas, que não chegam a ser uma lâmina d’água. Esta é uma característica específica do silte.



Figura 18: Shaking Test - Amostra 02

Fizemos o mesmo procedimento descrito anteriormente, porém utilizando a amostra 02. Observamos a presença de uma lâmina d'água em sua superfície, que é uma característica da argila.

Após a execução do Ensaio Tátil Visual, concluímos que amostra 01 apresenta características de um solo Siltoso e a amostra 02 apresenta características de um solo Argiloso.

Análise Granulométrica:

A análise granulométrica consiste na determinação das porcentagens do solo, em peso das diferentes frações constituintes da fase sólida do solo. Por meio dos resultados obtidos nesse ensaio, é possível construir uma curva de distribuição granulométrica, que tem como objetivo a estimativa de parâmetros para a criação de filtros, bases estabilizadas e permeabilidade. Para realizar este ensaio, utilizamos somente a amostra 01 (Silte).

O ensaio de análise granulométrica foi feito conforme NBR 7181/84.

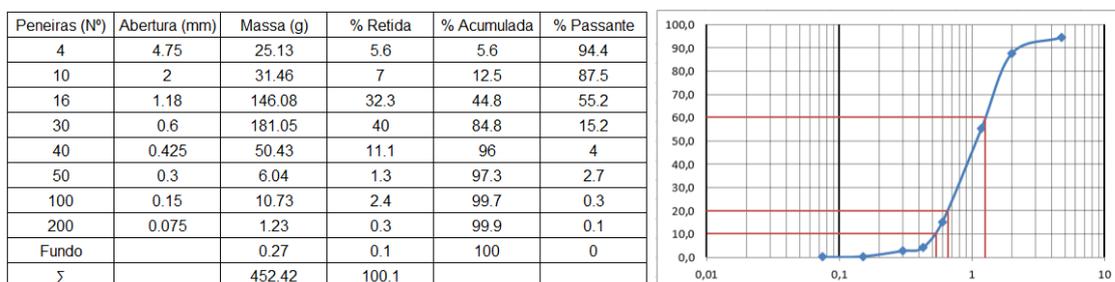


Figura 19: Curva Granulométrica

Coefficiente de uniformidade (cu) = D_{60}/D_{10}

$$cu = 1,4 / 0,54 = 2,59259$$

$$\text{Coeficiente de curvatura (cc)} = ((D30^2)/(D60 * D10))$$

$$cc = ((0,69^2)/(1,4 * 0,54)) = 0,62976$$

Com esses resultados, temos que o solo é uniforme de acordo com o coeficiente de uniformidade. Temos também que o solo é bem graduado de acordo com o coeficiente de curvatura.

Limite de Liquidez:

É o valor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o estado plástico. Esse limite é determinado com auxílio do aparelho de Casagrande no qual se determina o teor de umidade que, com 25 golpes, une os bordos inferiores de uma canelura (um centímetro de comprimento) aberta, na massa de solo, por um cinzel de dimensões padronizadas.

O Ensaio de Limite de Liquidez foi realizado conforme NBR 6459/16.

ENSAIO DE LIQUIDEZ					
CAPSULA	1	2	3	4	5
TARA (g)	11.71	10.8	11.26	11.9	10.83
AMOSTRA ÚMIDA + TARA (g)	16.28	17.13	24.6	22.19	24.39
AMOSTRA SECA + TARA (g)	15.33	15.76	21.3	19.86	21.34
ÁGUA (g)	0.95	1.37	3.3	2.33	3.05
SOLO (g)	3.62	4.96	10.04	7.96	10.51
UMIDADE (%)	26%	28%	33%	29%	29%
NÚMERO DE GOLPES	17	19	25	26	29

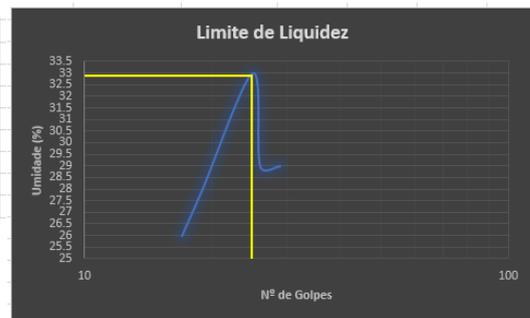


Figura 20: Ensaio de Limite de Liquidez

De acordo com o gráfico, o teor de umidade em 25 golpes foi de 32,90%

Limite de Plasticidade: É o valor de umidade na qual o solo passa do estado plástico para o estado semissólido. É o limite no qual o solo começa a se quebrar em pequenas peças, quando enrolado em bastões de 3 mm de diâmetro. Ou seja, é o menor teor de umidade em que o solo se comporta plasticamente.

O Ensaio de Limite de Liquidez foi realizado conforme NBR 7180/16

ENSAIO DE PLASTICIDADE						
CAPSULA	1	2	3	4	5	
TARA (g)	10.09	11.46	10.86	10.5	10.75	
AMOSTRA ÚMIDA + TARA (g)	10.86	12.22	11.66	11.35	11.65	
AMOSTRA SECA + TARA (g)	10.73	12.08	11.52	11.2	11.5	
ÁGUA (g)	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	
SOLO (g)	0.64	0.62	0.66	0.7	0.75	Média
UMIDADE (%)	20%	23%	21%	21%	20%	21.11%

Figura 21: Resultados do Ensaio de Plasticidade

A umidade média de acordo com o Ensaio de Plasticidade foi de 21,11%

Índice de Plasticidade: O Índice de Plasticidade (IP) é obtido através da diferença numérica entre o Limite de liquidez (LL) e o Limite de plasticidade (LP), ou seja: $IP = LL - LP$

Desta forma temos que $IP = 32,90 - 21,11$.

$IP = 11,79 \%$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após levantar todos os dados e realizar as análises sobre a área de estudo, identificamos alguns pontos importantes e de grande relevância. Um desses pontos é em relação ao perfil topográfico do córrego São João, que devido a sua oscilação de altitude, pode reduzir a velocidade de escoamento da água. A respeito da topografia da região, constatamos que a área em questão é o ponto mais baixo, ou seja, a água de todo entorno tende a escoar para lá. Em relação ao solo, temos às margens do córrego um solo argiloso, e no restante da área, temos uma classificação siltosa, porém, observamos que devido ao crescimento urbano, a maior parte da região encontra-se pavimentada, o que deixa o solo impermeável.

Notamos também que, no córrego, há muitos conjuntos de rochas volumosas que acabam ocupando um espaço que poderia ser preenchido por água. O córrego São João possui, em média, 6.900 metros de extensão, 3 metros de largura e 1,5 metros de profundidade. Totalizando, assim, uma área de aproximadamente 20700m² e um volume de 31050m³.

No levantamento de dados do local, obtivemos que, a cada 12m³ de volume do córrego, há um conjunto de rochas que ocupam, aproximadamente, 1,6m. Com isso, o local que poderia ser abastecido com 12.000L d'água, é abastecido com apenas 10.400L. Aplicando esses dados ao volume do córrego inteiro, concluímos que há uma defasagem no sistema de retenção que gira em torno dos 13,33%. O córrego que possui um volume de 31050m³, já possui 4140m³ ocupados por conjuntos de rochas. Sendo assim, o córrego deixar de receber $4,14 \times 10^6$ L d'água.



Figura 22: Conjuntos de Rochas que ocupam o toda a extensão do córrego. Fonte: (próprios autores)

Mediante aos dados, concluímos que a possível solução mais viável é que esses conjuntos de rochas sejam extraídos do córrego para que, assim, ele desenvolvesse sua função de retenção com 100% do seu volume original disponível.

CONCLUSÃO

Portanto, concluímos que há um conjunto de fatores de diversas áreas que contribuem com o alagamento da área de estudo, como a topografia do local, o solo que foi completamente urbanizado e falhas no sistema de retenção. No entanto, optamos por adotar a limpeza do córrego que percorre a área como solução mais viável, pois ela não causaria impactos ambientais e nem afetaria o desenvolvimento urbano. Desta forma, teríamos uma vazão maior de água, pois, extraíndo as pedras, a área do córrego ficaria maior, desta forma, aumentaria o escoamento da água em dias de chuvas fortes e intensas, não sobrecarregando o sistema.

Ao extrair as rochas, a área do córrego ficará maior, diminuindo assim a velocidade da água e evitando futuros problemas com o desgaste e erosão dos taludes, já que o atrito será menor.

REFERÊNCIAS

BORGES, Alberto de Campos. **Topografia: Aplicada à Engenharia Civil**. 3. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2013. 213 p. v. 1.

PINTO, Nelson L. de Souza; HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; MARTINS, José Augusto; GOMIDE, Francisco Luiz Sibut. **Hidrologia Básica**. 1. ed. São Paulo, SP: Blucher, 1976. 305 p.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2006. 367 p. v. 1.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Controle de enchentes**. Disponível em:

<https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/231-controle-de-enchentes>
≥ Acesso em: 18 de maio de 2022

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6459: **Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 6p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7180: **Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 3p.

CHOW, Ven Te. **A MCGRAW-HILL CLASSIC TEXTBOOK REISSUE**. Estados Unidos: Copyright, 1988. 728 p.