



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAIS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ARBORIZAÇÃO URBANA

Monografia

MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS NA AMAZÔNIA:
ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS PARA MITIGAÇÃO DE PROBLEMAS DE
IMPERMEABILIDADE DO SOLO EM ALTAMIRA, PA

MÁRCIA ORIE DE SOUSA HAMADA

Seropédica, RJ
Abril de 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAIS
PROGRAMA DE POS GRADUAÇÃO EM ARBORIZAÇÃO URBANA

Monografia

MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS NA AMAZÔNIA:
ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS PARA MITIGAÇÃO DE PROBLEMAS DE
IMPERMEABILIDADE DO SOLO EM ALTAMIRA, PA

MÁRCIA ORIE DE SOUSA HAMADA

Sub a orientação da professora

Dra. Cláudia Moster

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **especialista**, no Programa de Pós-Graduação em Arborização Urbana

Seropédica, RJ
Abril de 2024

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

d198m de Sousa Hamada, Márcia Orié, 28/11/1979-
MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS NA AMAZÔNIA:
ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS PARA MITIGAÇÃO DE PROBLEMAS
DE IMPERMEABILIDADE DO SOLO EM ALTAMIRA, PA / Márcia
Orié de Sousa Hamada. - Altamira, 2024.
29 f.: il.

Orientadora: Cláudia Moster .
Monografia (Especialização). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Especialização em Arborização
Urbana, 2024.

1. Solo urbano. 2. Vazão máxima. 3. Áreas verdes.
I. Moster , Cláudia, 03/06/1981-, orient. II
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
Especialização em Arborização Urbana III. Título.



**HOMOLOGAÇÃO DE MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO Nº 2 / 2024 - DeptCAmb
(12.28.01.00.00.00.29)**

Nº do Protocolo: 23083.025704/2024-01

Seropédica-RJ, 29 de maio de 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARBORIZAÇÃO URBANA (*Lato sensu*)

Termo de aprovação da defesa de Monografia de **MÁRCIA ORIE DE SOUSA HAMADA**.

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Arborização Urbana, no Curso de Pós-Graduação em Arborização Urbana (*Lato sensu*) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

MONOGRAFIA APROVADA EM 17/ 05/ 2024

(Assinado digitalmente em 29/05/2024 11:24)

CLAUDIA MOSTER
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCAmb (12.28.01.00.00.00.29)
Matrícula: 3063003

(Assinado digitalmente em 30/05/2024 16:27)

JEANNE ALMEIDA DA TRINDADE
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 732.536.697-34

(Assinado digitalmente em 30/07/2024 14:56)

WELLINGTON DE PINHO ALVAREZ
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 837.613.572-49

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **2**, ano: **2024**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE MONOGRAFIA DE
ESPECIALIZAÇÃO**, data de emissão: **29/05/2024** e o código de verificação: **cca1576c5a**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade de realizar este curso e aprimoramento dos meus conhecimentos.

À minha orientadora Cláudia Moster pela orientação, confiança e apoio durante a elaboração da minha monografia.

Aos professores pelos ensinamentos e por compartilhar seus conhecimentos.

À minha turma de pós-graduação pelos momentos de dificuldades e companheirismos.

Especialmente à minha família, agradeço aos meus pais Masahiro Hamada e Maria Hamada, meus irmãos Leonardo Hamada, Alfredo Hamada e meu parceiro Francivaldo Mendes pelo apoio, incentivo e compreensão.

A todos aqueles que indiretamente me ajudaram a realizar este trabalho.

RESUMO

HAMADA, Márcia Orié de Sousa. Projeto “**Manejo de bacias hidrográficas urbanas na Amazônia: Estratégias sustentáveis para mitigação de problemas de impermeabilidade do solo em Altamira, PA**”. 2024. 27p. Monografia (Pós-Graduação em Arborização Urbana). Departamento de produtos florestais. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2024.

As atividades de impermeabilização do solo, decorrentes da ocupação desordenada, acarretam diversas consequências, como as inundações com prejuízos econômicos e socioambientais. Este artigo teve como objetivo estudar uma bacia hidrográfica urbana para estimar a vazão máxima, considerando um cenário alternativo de uso do solo. Diante dos resultados obtidos, foi possível discutir o impacto de propostas sustentáveis para minimizar os efeitos da impermeabilização do solo. A área de estudo está localizada no município de Altamira, Estado do Pará. As características hidrológicas foram obtidas por meio de análise de imagens de satélite. Com os dados pluviométricos regionais (Altamira), a intensidade máxima de precipitação considerada foi de 54,5380 mm/h. Portanto, a vazão máxima estimada para o cenário atual foi de 100,1153 m³/s, considerando uma permeabilidade média do solo. No cenário alternativo, por meio do aumento de áreas verdes e solo permeável, caracterizando uma superfície de baixa impermeabilidade, a vazão máxima seria reduzida para 93,4549 m³/s. A implementação de sistemas alternativos de drenagem em áreas urbanas, como as Nature based Solutions, pode contribuir para desenvolver a resiliência e a adaptação às mudanças climáticas. No entanto, esses projetos devem ser considerados prioritários no planejamento do desenvolvimento territorial urbano, levando em consideração as iniciativas governamentais e o engajamento da sociedade civil, para restaurar a capacidade de permeabilidade dos solos e reduzir os riscos de picos de vazão e danos causados por inundações.

Palavras chaves: Drenagem urbana. Vazão máxima. Áreas verdes.

ABSTRACT

HAMADA, Márcia Orié de Sousa. Project "**Management of urban Amazon watersheds: Sustainable strategies for mitigating soil impermeability problems in Altamira, PA**". 2024. 27p. Monograph (Postgraduate Studies in Urban Afforestation). Department of Forest Products. Federal Rural University of Rio de Janeiro. 2024.

The soil sealing activities, resulting from unplanned occupation, leads to several consequences, such as the flooding with economic and socio-environmental losses. This article aimed to study an urban watershed to estimate maximum flow, considering an alternative land use scenario. Given the results obtained, it was possible to discuss the impact of sustainable proposals to minimize the effects of soil sealing. The study area is located in the city of Altamira, State of Pará. The hydrological characteristics were obtained by analysis of satellite images. With the regional rainfall data (Altamira), the maximum precipitation intensity considered was 54.5380 mm/h. Therefore, the maximum flow rate estimated for current scenario was 100.1153 m³/s, considering a medium permeability of soil. The alternative scenario, through the increase of green areas and permeable soil, characterizing a low impermeability surface, the maximum flow rate would be reduced to 93.4549 m³/s. The implementation of alternative drainage systems in urban areas, as the Nature based Solutions, can contribute to develop the resilience and climate change adaptation. However, these projects should be considered a priority in the planning of urban territorial development, taking into account government initiatives and the engagement of civil society, to restore the permeability capacity of soils and reduce the risks of peak flow rates and damage caused by flooding.

Keywords: Urban drainage. Maximum flow rate. Urban Green areas.

Lista de Figuras

	Pg.
Figura 1: Mapa de localização da cidade de Altamira, região do sudoeste do Estado Pará.	14
Figura 2: Coeficiente de distribuição espacial da chuva K.	18
Figura 3: Delimitação da sub-bacia e o desnível da área de estudo na cidade de Altamira – PA.	19
Figura 4: Limitação da sub-bacia e a classificação das características de ocupação da área de estudo na cidade de Altamira – PA.	20
Figura 5: Imagem com as principais características da cobertura do solo da área da sub bacia. A) área verde sem coberturas arbóreas; B) loteamento do bairro para novas edificações; C) Praça com poucas áreas verdes; D) Aspecto da arborização no canteiro central impermeável por pavimentação asfáltica; e E) Aspecto da arborização no canteiro central elevado e impermeável por pavimentação de concreto.....	21

Lista de Tabelas

	Pg
Tabela 1: Coeficiente de desagregações de dados pluviométricos para diferentes durações de chuva.	15
Tabela 2: Coeficiente volumétrico (C_2) para diferentes graus de impermeabilidade do solo.	17

SUMÁRIO

	Pg
1 Introdução	11
2 Objetivo.....	13
3 Metodologia	13
4 Resultados e discussão	18
5 Conclusão	25
6 Referências Bibliográficas	25
Anexo	29

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica de ocupação territorial, e o processo de urbanização, geralmente ocorrem de maneira desordenada no espaço urbano, para onde as pessoas migram em busca de melhores condições de vida. Isso promove o crescimento populacional e resulta na ocupação de novas áreas do solo com edificações, asfaltamento, calçamento de ruas, entre outros elementos que compõem essa paisagem.

Essas ocupações, normalmente, têm causado a impermeabilização do solo na grande maioria das áreas ocupadas pela sociedade humana moderna. Nos centros urbanos, essa taxa de impermeabilidade do solo, constituída principalmente pela presença da pavimentação, tem aumentado mundialmente, afetando o processo de capacidade de infiltração das águas pluviais. Com isso, o escoamento das águas pluviais na superfície ocorre em maior quantidade e velocidade, ocasionando em problemas urbanos como enchentes e inundações (CRUZ et al., 2019; PARRA e TEIXEIRA, 2020; TIBUICIO et al, 2023).

Moura e Silva (2015) fazem a distinção entre área total impermeabilizada e área efetiva. Segundo esses autores, a primeira seria a infiltração da água da chuva no subsolo devido a cobertura da área de uma bacia ou sub bacia urbana por materiais e construções. A segunda está relacionada a sistema de drenagem urbana que contribuem diretamente com o escoamento superficial, onde água pluvial é totalmente despejada diretamente na rede de drenagem natural.

Desta forma, a questão da impermeabilização do solo é um desafio para a gestão das cidades, que deve levar em consideração o planejamento estratégico, de forma a diminuir os prejuízos das consequências do alagamento, principalmente na saúde pública e economia.

Uma solução promissora emerge da própria natureza, introduzindo a prática sustentável e favorecendo a infiltração de água no solo de maneira eficiente. A criação de áreas verdes e a presença de árvores nos centros urbanos, por exemplo, transformam morfologicamente os espaços já ocupados, incorporando novas áreas que podem contribuir com a valorização desses espaços contemporâneos (BONAMETTI, 2019).

Áreas verdes, segundo Cavalheiro *et al.* (1999), são consideradas áreas livres em que o elemento principal é a presença da vegetação, com objetivo ecológico-ambiental, estético e de lazer, e solo permeável em pelo menos 70% da área. Para o Ministério de

Meio do Ambiente são áreas intraurbanas que apresentam cobertura vegetal, arbórea, arbustivas ou rasteira (gramíneas) e que tem contribuição significativa para a qualidade de vida e o equilíbrio ambiental nas cidades.

A presença de árvores nas áreas urbanas provoca uma série de mudanças positivas, revertendo os impactos negativos causados pela urbanização. Dentre essas mudanças, a capacidade de reduzir os efeitos das ilhas de calor, melhorando o microclima; colaboração na manutenção da biodiversidade; regulação do ciclo hidrológico; fornecimento de abrigo e alimento para fauna transitório e residente; salubridade ambiental e influência direta para o bem-estar humano (CADORIN e MELLO, 2011; SILVA e OLIVEIRA, 2020).

Para Yugue e Viena (2022) a presença das árvores contribui para o manejo das águas pluviais, atuando como estratégia para diminuição do volume de escoamento superficial e contribuindo para a redução das vazões de pico, que resultam em inundações. Assim, a arborização urbana desempenha um papel crucial na mitigação da impermeabilidade do solo nas áreas urbanas. Árvores e vegetação, juntas, formam espaços verdes que absorvem a água da chuva, reduzindo o escoamento superficial e permitindo uma infiltração mais eficiente no solo.

Embora esses espaços modifiquem de forma positiva os aspectos ambientais, sociais e econômicos, apresentam uma lacuna no planejamento, gerando conflitos entre as árvores e os espaços edificados. Segundo Gonçalves et al. (2018), essas vegetações devem se desenvolver sem prejudicar as estruturas, danificar infraestruturas públicas como encanamentos, redes elétricas e calçadas.

Diante desse cenário, a seleção adequada de espécies arbóreas e a integração inteligente com o design urbano podem minimizar impactos negativos, promovendo uma coexistência sustentável entre natureza e a infraestrutura urbana. O planejamento eficaz é fundamental para equilibrar o desenvolvimento e a preservação ambiental, garantindo a funcionalidade dos espaços verdes, ao mesmo tempo que são gerenciadas questões como o escoamento de águas pluviais.

Nesse sentido, este trabalho buscou entender de que forma e grau de intensidade medidas direcionadas para o aumento da permeabilidade do solo, como infraestrutura verde, podem contribuir para a diminuição do escoamento superficial. Dessa forma, pretende-se fomentar a discussão sobre a redução dos problemas causados pela urbanização e, ao mesmo tempo, a necessidade de um desenvolvimento que concilie economia, equidade social e preservação ambiental. De forma geral, o trabalho contribuiu

para identificar possíveis caminhos para planejamento e gestão urbana mais eficazes e sustentáveis.

2 OBJETIVO

O objetivo proposto neste trabalho foi elaborar o estudo hidrológico de uma sub-bacia hidrográfica urbana a fim de:

- i) estimar a vazão máxima, com período de retorno de 10 anos;
- ii) propor um cenário alternativo e sustentável de ocupação do solo, considerando minimizar os efeitos da impermeabilização;
- iii) avaliar o potencial de redução do pico de vazão por meio da implementação de método não convencional.

3 METODOLOGIA

A cidade de Altamira está localizada na região do sudoeste do Estado Pará e na microrregião de Altamira, localizada nas coordenadas 3°12'12" Sul e 52°12'23" Oeste, na margem esquerda do Rio Xingu. Seu acesso ocorre pela rodovia BR-230, conhecida como rodovia Transamazônica. Segundo o IBGE, a cidade está a 74 metros de altitude. O clima é classificado como Equatorial (Am e Aw), segundo Köppen (1928).

A área de estudo está localizada na bacia hidrográfica do rio Xingú, e em seu médio curso existem três sub-bacias que atravessam o perímetro urbano: as sub-bacias Igarapé Altamira, Panelas e Ambé (Figura 1). Para este estudo foi selecionado o igarapé Panelas, que tem influência na microbacia que apresenta histórico de alagamento.

Altamira tem um legado de grandes movimentos, e, segundo Pimentel e Ravena (2022), a região do Xingu, ao longo do tempo, sofreu grandes transformações, como socioeconômicas, demográficas, ambientais e políticas, que modificaram seu desenvolvimento territorial e urbano. Segundo esses mesmos autores, destacaram-se as alterações provocadas pela construção da rodovia BR-230 (Transamazônica) e pela construção da Usina Hidrelétrica (UHE) de Belo Monte.

Essas obras de infraestrutura provocaram um aumento na demanda por novas ocupações e resultaram na diminuição das áreas verdes. Segundo um estudo realizado por Feio *et al.* (2023), nos últimos dez anos, houve um aumento da temperatura devido ao crescimento populacional e à expansão da malha urbana.

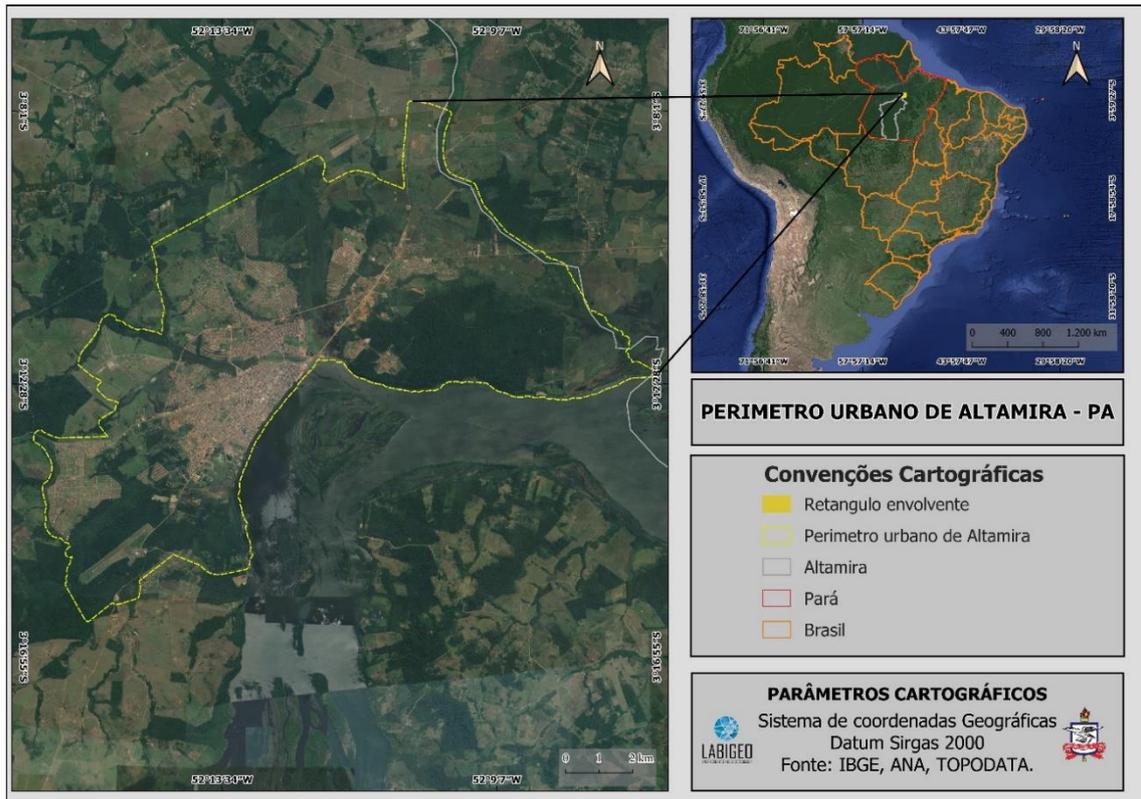


Figura 1: Mapa de localização da cidade de Altamira, região do sudoeste do Estado Pará.
Fonte: Autoria própria (2024)

Assim, foi utilizada imagens do satélite Landsat 8 órbitas/pontos 226/062, disponibilizadas pelo Sistema Geológico Americanos - USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Em seguida, as cenas foram tratadas no software QGis 3.28 e processadas para a delimitação da área da microbacia de influência do Igarapé Panelas, a partir da topografia, e obtendo-se a declividade e o comprimento do talvegue. Para cálculo do Tempo de concentração (T_c), foi utilizado a equação de Kirpich, devido a facilidade e disponibilidade dos dados acerca da sub-bacia, quando comparado com outras metodologias.

$$T_c = 57 \left[\frac{L^3}{H} \right]^{0.385}$$

Sendo:

T_c = tempo de concentração (min);

L = comprimento do Talvegue (m);

H = diferença de nível entre o ponto mais remoto da bacia e o ponto exutório (m).

Para o cálculo de intensidade máxima da precipitação com TR = 10 anos, foi utilizada a equação para Altamira, segundo Souza et al. (2012), para estimar o índice pluviométrico:

$$I = \frac{1204,0580 \cdot TR^{0,1152}}{(T_c + 9,7894)^{0,7243}}$$

Onde:

I = intensidade de precipitação (mm/h);

TR = tempo de retorno (anos);

Tc = tempo de concentração (min).

Os dados pluviométricos foram obtidos no site HIDROWEB da Agência Nacional das Águas, onde foram extraídos os dados de precipitação máxima de cada ano (período de 2014 a 1975), a média e o desvio padrão. As desagregações de dados pluviométricos foram realizadas de acordo com coeficiente de desagregações para chuvas sub-diárias de acordo com tabela 1, para 24 h, 1h e 30 min. Esse método, segundo Cruz et al (2019), está consolidado para o Brasil e foi adotado por Souza et al (2012) para o estado do Pará. Assim, obteve-se a precipitação de 89,2162 mm, com duração de 30 minutos, para o tempo de retorno de 10 anos.

Tabela 1: Coeficiente de desagregações de dados pluviométricos para diferentes durações de chuva.

Relação de durações	5/30 min.	10/30 min.	15/30 min.	20/30 min.	30mi n./1h	1/24 h	6/24 h	8h/24 h	10/24 h	12/24 h	24/1 dia
Relação de chuvas	0,34	0,54	0,7	0,81	0,74	0,42	0,72	0,78	0,82	0,85	1,14

Fonte: CETESB (1986).

Para cálculo da vazão máxima foi utilizado o método I-Pai-Wu (Siqueira et al., 2023):

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A^{0,9} \cdot K$$

Sendo:

Q = vazão (m³/s);

C = coeficiente de escoamento superficial;

I = intensidade de precipitação (mm/h);

A = área da bacia (Km²);

K = coeficiente de distribuição espacial da chuva.

Neste método, fatores adicionais devem ser levados em consideração para o escoamento superficial (C), que pode ser interpretado como “excesso de chuva”, quando a intensidade da chuva exceder a capacidade de infiltração do solo (LIMA, 2008). Desta forma, cada tipo de classe do solo, apresenta coeficiente de escoamento superficial (C), que pode ser obtido pela equação:

$$c = \frac{c_2}{c_1} \cdot \frac{2}{1 + F}$$

Onde:

C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

C₁ = coeficiente de forma, adimensional;

C₂ = coeficiente volumétrico de escoamento, adimensional;

F = fator de forma da bacia, adimensional.

Nesse método, o cálculo do coeficiente de escoamento superficial C é realizado por meio das equações a seguir:

$$c_1 = \frac{4}{2+F} \quad \text{e} \quad F = \frac{L}{2 \cdot \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5}}$$

Sendo, C₁ o coeficiente da forma e, F o fator de forma da bacia.

O coeficiente volumétrico (C₂) foi originado da Tabela 2 e o coeficiente de distribuição espacial de chuva (K), que é função da área de drenagem (km²) e do tempo de concentração (Horas), obtido por meio do gráfico apresentada na Figura 2.

Tabela 2: Coeficiente volumétrico (C_2) para diferentes graus de impermeabilidade do solo

Grau de impermeabilização da superfície	Coeficiente volumétrico de escoamento (C_2)
Baixo	0,3
Médio	0,5
Alto	0,8

Fonte: DAEE/SP (1999)

Em qualquer bacia, há diferente ocupação e uso do solo, não existe uma uniformidade de coeficiente de superficial. Assim, é necessário calcular um coeficiente médio ponderado (C_p) para a área total de drenagem, conforme a equação:

$$C_p = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + C_3 \cdot A_3 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$

Sendo que os $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$ são os coeficientes de escoamento superficial para as áreas da bacia e as $A_1, A_2, A_3 \dots A_n$ são as áreas de coeficientes $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$, respectivamente.

De posse dos dados, foi realizada uma simulação da mudança na cobertura do solo, com a proposta de substituir as áreas construídas por alternativas sustentáveis, ou seja, alternativas que incluem um planejamento da disposição das construções e o aumento das áreas verdes, visando melhorar a permeabilidade do solo. Dessa forma, obteve-se um cenário alternativo para o comportamento da vazão nas superfícies do solo urbano.

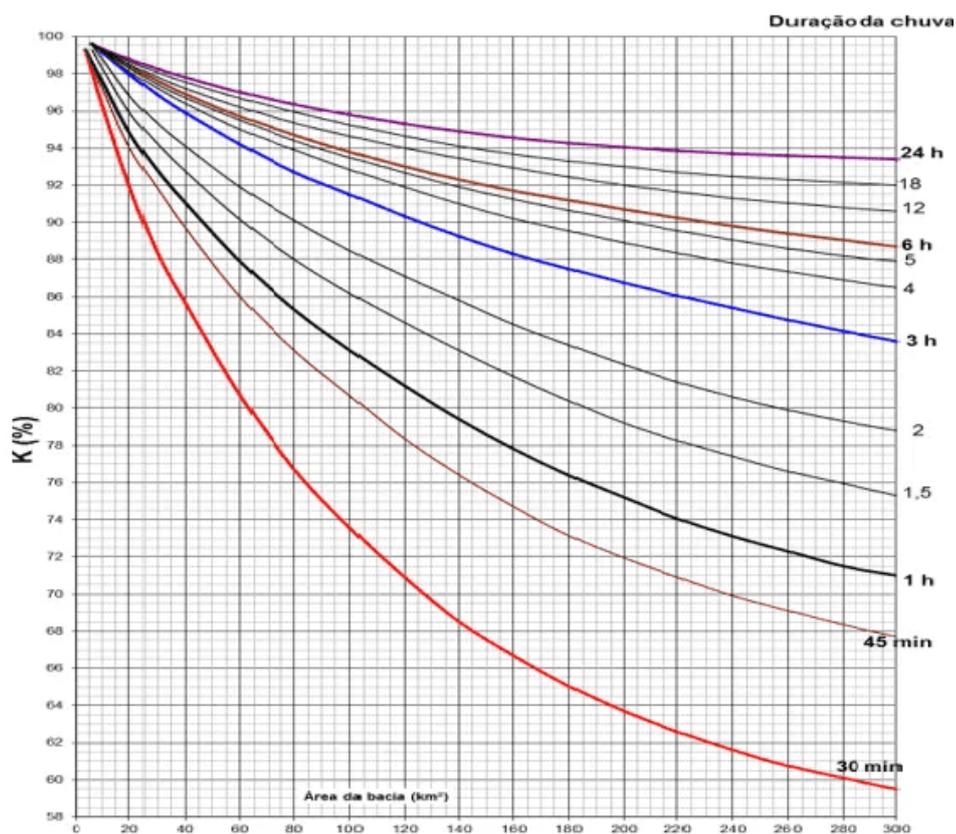


Figura 2: Coeficiente de distribuição espacial da chuva K.

Fonte: DAEE/SP (1999)

4 RESULTADOS

Foram identificadas e delimitadas as bacias hidrográficas da área de estudo, baseando-se nas curvas de nível, que possibilitou a delimitação da influência da sub-bacia, com a determinação do ponto exutório. Através dessas delimitações foi possível determinar a área total da sub-bacia de 4,49 km², com desnível de 5,81 metros e o comprimento de Talvegue de 2,42 km (Figura 3).

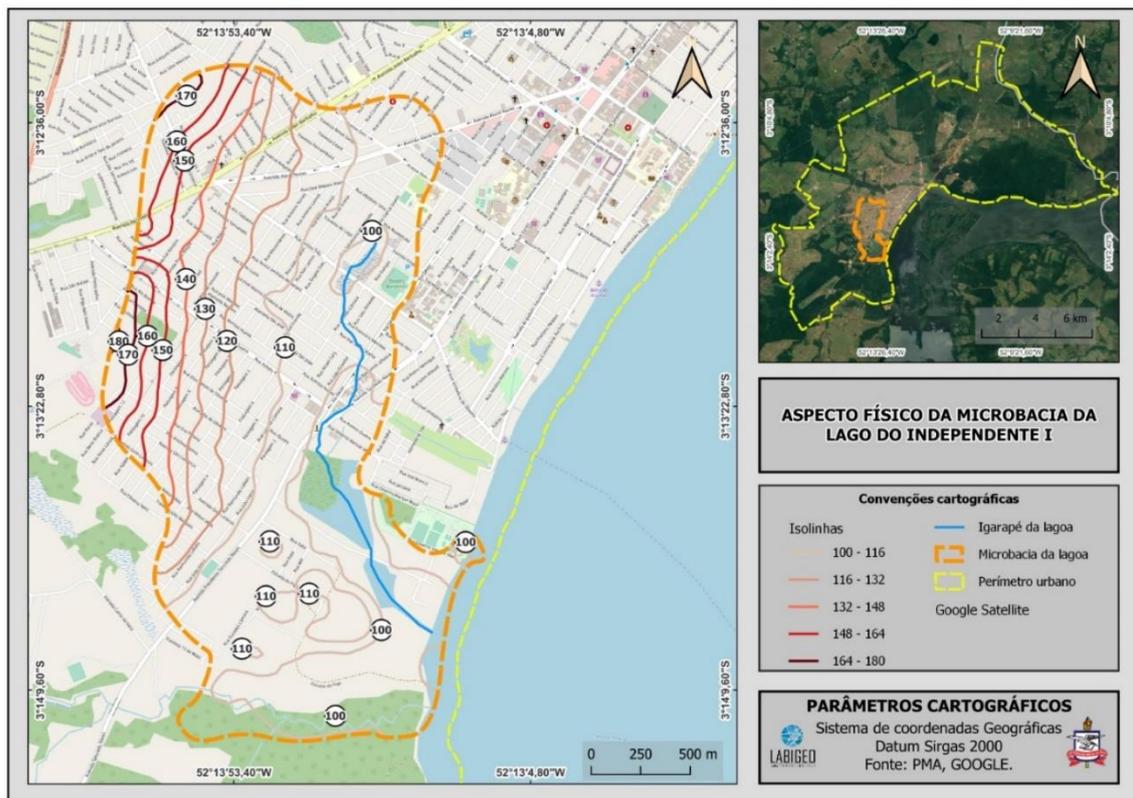


Figura 3: Delimitação da sub-bacia e o desnível da área de estudo na cidade de Altamira – PA.

Fonte: Autoria própria (2024)

A sub-bacia está localizada de acordo com o mapa do plano diretor do município de Altamira de 2013, na zona habitacional. Para este estudo, as áreas foram classificadas como área construída com 2,69 km² (incluindo asfalto e edificações) e área livre de edificações com 1,80 km² (incluindo lotes privados e áreas de moradia remanejadas, ambas áreas com presença de gramíneas e pouco arbustos) (Figura 4).

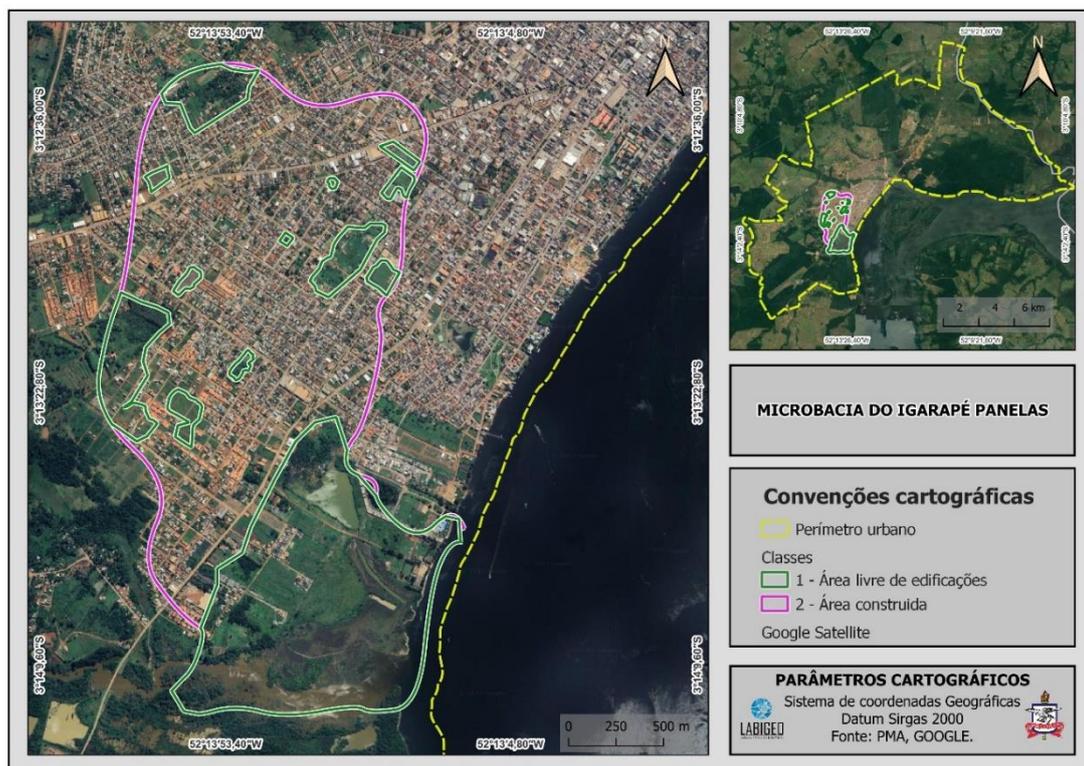


Figura 4: Limitação da sub-bacia e a classificação das características de ocupação da área de estudo na cidade de Altamira – PA.

Fonte: Autoria própria (2024)

Na pesquisa de campo foi constatada a ocupação do solo na área da sub-bacia, identificando-se diferentes classes que interferem na capacidade de infiltração de água: ruas pavimentadas, calçadas, edificações de residências, comércios, escolas, loteamento sem construção e poucas áreas verdes (Figura 5). De acordo com Brasil (2005), os coeficientes de escoamento superficial foram atribuídos como 0,82 para a área central e 0,20 para a área com terrenos baldios, respectivamente. Assim, obteve-se uma média ponderada de 0,57, o que indica que 57% das chuvas precipitadas são escoadas superficialmente. Esse fator é o que reflete o efeito da urbanização na impermeabilização do solo, na diminuição da porosidade e da infiltração de água, acarretando aumento do escoamento superficial, no pico de vazão e na ocorrência das enchentes.

O desenvolvimento urbano, pode causar obstruções ao escoamento, devido aos aterros, pontes e drenagens inadequadas, que causam inundações principalmente em bacias pequenas, menor que 100 km², e sendo frequentes em bacias com maior que 10km² (TUCCI, 2005). Conforme a análise da média ponderada, a sub-bacia é categorizada como uma área de média impermeabilidade da superfície do solo, ou seja, suas características

físicas e condição de uso e ocupação podem explicar as ocorrências de pontos de inundações na região.



Figura 5: Imagens com as principais características da cobertura do solo da área da sub-bacia. A) área verde sem coberturas arbóreas; B) loteamento do bairro para novas edificações; C) Praça com poucas áreas verdes; D) Aspecto da arborização no canteiro central impermeável por pavimentação asfáltica; E) Aspecto da arborização no canteiro central elevado e impermeável por pavimentação de concreto.

Fonte: Autoria própria (2024)

A impermeabilização é um parâmetro importante no gerenciamento das consequências causadas pela urbanização e que deve ser considerado no planejamento urbano. Assim, é fundamental que as características de ocupação do solo sejam identificadas de forma detalhada, já que esse fator influencia diretamente na geração do

escoamento superficial e no aumento do pico vazão, conseqüentemente, na ocorrência de enchentes e alagamentos (CARVALHO e WALDER, 2022). A condição da impermeabilização do solo é agravada na ocorrência de precipitações com alta intensidade.

A partir do cálculo da intensidade máxima de chuva, considerando o tempo de retorno de 10 anos e tempo de concentração de 34,7201min., obteve 54,5380 mm/h. Trabalhos realizados por Cruz *et al.* (2019) para a cidade de Altamira, e por França *et al.* (2022) para a cidade de Tucuruí, demonstraram que as intensidades de chuva são intensas nos primeiros minutos. Essas características condizem com o clima da região amazônica (SOUZA *et al.*, 2012).

Das áreas permeáveis da sub-bacia, são as áreas abertas e os loteamentos destinadas para construções de novas edificações, como mostra na figura 5.A e B, este cenário tende agravar à medida que novas edificações forem construídas. Essa expansão urbana convencional, tende apresentar um impacto negativo, como perda da cobertura vegetal e aumento do volume e velocidade do escoamento superficial, e a antecipação da ocorrência do pico de vazão (redução do tempo de concentração).

Nessa configuração do cenário de cobertura do solo e de intensidade de chuva, o resultado para a vazão máxima estimada foi de 100,1153 m³/s. O resultado da estimativa da vazão máxima pode ser um ponto de partida, como um indicador hidrológico, no planejamento para minimizar os efeitos negativos do escoamento superficial e da necessidade de adequar a área com medidas corretivas e preventivas. No caso da área de estudo, a expansão da área impermeabilizada e a ocupação desordenada, tendem a aumentar a frequência e a intensidade dos picos de vazão, podendo transpor para a classificação da impermeabilidade do solo, de média para alta.

Para prevenir o agravamento do escoamento superficial, é essencial considerar alternativas de uso e ocupação que otimizem o processo de geração do escoamento direto, transitando de uma média para uma baixa impermeabilidade da superfície. Assim, ao implementar projetos e reduzir o coeficiente do escoamento superficial para 0,3, ou seja, tornando a área impermeável em 30%, poderia resultar na vazão máxima de 93,4549 m³/s. Isso implica que se a sub-bacia for composta por 70% de áreas de baixa impermeabilidade, resultaria na redução de 6,65% no pico de vazão. Portanto, é fundamental conservar e aprimorar as áreas verdes existentes e adicionar novas áreas (aproximadamente 3,13 km²) por meio de projetos não convencionais, a fim de minimizar os efeitos climáticos e as

condições físicas do relevo, já que são fatores não manejáveis e que podem suprimir o efeito da vegetação.

Garcia *et al.* (2015) conduziu uma simulação da adoção de uma medida mitigatória não estrutural, na qual ocorreu o aumento da área permeável em 10%, o que demonstrou ser eficaz na redução da vazão e da velocidade do escoamento. A adoção de medidas de baixo nível tecnológico no processo de planejamento pode aumentar a área permeável, como a abertura e manutenção adequada de espaços urbanos destinados à parques e praças, a arborização de acompanhamento viário e calçadas (SCHEUER e NEVES 2016). Essas medidas proporcionam vantagens ao homem que habita na cidade, como bem-estar psicológico, sombra para os pedestres e veículos, redução do impacto da água da chuva e seu escoamento superficial, diminuição da temperatura, entre outros (PIVETTA e FILHO 2002).

Estratégias para redução das áreas impermeáveis devem ser consideradas no planejamento urbano, como medidas preventivas, corretivas e estruturais (LOPES *et al* 2020). Dentro das estratégias estruturais podem ser aplicadas obras de drenagem pluvial e soluções alternativas, como as Soluções baseadas na Natureza (SbN), para minimizar os danos causados pela chuva na superfície, de forma que reduzam as cheias e a velocidade de escoamento superficial (CARVALHO *et al* 2015).

A proposta que se apresenta como cenário estratégico, consiste na concepção de novos espaços públicos destinados à composição das áreas verdes, desempenhando funções essenciais dentro da malha urbana. Esses ambientes, conforme apontado por Campos e Castros (2017), desempenham um papel crucial ao oferecer serviços ambientais, tais como a mitigação de alagamentos, a regulação climática e a redução da poluição atmosférica. Essa abordagem não apenas contribui para a qualidade estética do ambiente urbano, mas também promove a sustentabilidade.

Introduzir árvores na área urbana como estratégia de infraestrutura verde, além de oferecer melhoria na qualidade de vida, melhora o design paisagístico urbano e está alinhado com o paradigma da sustentabilidade. Isso aumenta a permeabilidade do solo, a interceptação da água da chuva, principalmente pelas copas das árvores, e consequentemente reduz a velocidade de escoamento direto da água da chuva (SETTA, 2016; LOCATELLI *et al.*, 2017).

Nesse processo de reduzir a vazão do volume de escoamento superficial em solo impermeável, pode ser adotado, dentro do sistema de drenagem urbana compensatória,

uma SbN, conhecida como jardim de chuva. Segundo Silva *et al.* (2018), trata-se de um sistema de biorretenção que visa solucionar os problemas de inundação, com a redução do nível de escoamento e ainda possibilita uma série de vantagens, como auxiliar na qualidade da água. Silva *et al.* (2020), na elaboração do projeto de jardim de chuva, apresentaram um ótimo desempenho relacionado à capacidade de receber e armazenar 535,10 m³ de água precipitada. Com esse sistema, após o armazenamento das águas pluviais, estas são absorvidas pelo solo, contribuindo para o desenvolvimento da vegetação e para a melhoria da permeabilidade do solo no centro urbano.

A criação de áreas permeáveis, como a implementação de espaços verdes e da arborização, como medida estruturante ou não convencional, é uma boa estratégia para a redução do volume de escoamento superficial que contribui para a redução das vazões de pico e deve ser implementada nas áreas de maior ocorrência de acúmulo de água (YUGUE e VIANA, 2022).

Nesse sentido, a criação de parques urbanos, em áreas públicas abandonadas, como a área da Figura 5A, que apresenta pontos de alagamentos e sem cobertura arbórea, apresenta potencial de contribuir para a mitigação dos efeitos negativos da urbanização. A inserção dos parques urbanos não só proporciona solos permeáveis para a penetração da água e para o plantio de árvores, mas também proporciona as interações entre meio ambiente e o homem, o lazer, contribui para a purificação do ar, entre outros (FIGUEIREDO *et al* 2019).

Outra alternativa considerada viável, consistiria na otimização das vias públicas para a arborização viária, que engloba o plantio de árvores nas calçadas e nos canteiros centrais de ruas e avenidas. Na Figura 5D e 5E, nota-se que as áreas destinadas para o plantio das árvores encontram-se sobre solos impermeabilizados, com pavimentação de concreto e asfáltica. Com o intuito de aprimorar o escoamento superficial, propõe-se substituir essas áreas impermeáveis por superfícies permeáveis ou semipermeáveis.

No entanto, para alcançar tal efeito proposto, é necessário considerar a melhoria das áreas livres existentes e alocação de novas áreas verdes. Considerando o método racional, a alternativa seria atingir uma área de baixa impermeabilização de 3,145 km², que corresponde 70% da sub-bacia em estudo. Devido a limitação de espaço público para a criação de grandes áreas verdes, considera-se adequado a implementação de métodos não convencionais para minimizar os alagamentos e a adoção integrada de Soluções baseadas na Natureza para interceptação e retenção das chuvas, aumento da permeabilidade e

redução do escoamento direto. Ao integrar estratégias que visam aumentar a permeabilidade do solo, buscando adaptação frente aos desafios relacionados a inundações, preservar os ecossistemas locais, e proporcionar um ambiente saudável e resiliente para seus habitantes. Considera-se, também, fundamental a colaboração entre o governo, a comunidade e os setores privados, para assegurar o sucesso dessas iniciativas e promover cidades mais sustentáveis no futuro.

5 CONCLUSÃO

O cenário alternativo de uso do solo para um coeficiente de escoamento superficial de 0,3 resultaria na redução de 6,65% do pico de vazão, o que demonstra que as características físicas da sub-bacia, e condições climáticas regionais, podem suprimir o efeito da cobertura do solo na área de estudo. O resultado enfatiza a importância da adoção de estratégias integradas para melhoria da permeabilidade do solo no planejamento urbano sustentável, já que algumas características que definem a geração do escoamento direto podem ser manejadas. No entanto, deve ser pautada a partir da implementação de políticas públicas que incentivam práticas para a criação de áreas verdes, juntamente com o sistema convencional de drenagem.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

BONAMETTI, J. H. **Arborização urbana**. *Terra e cultura*, v. 36, p. 51-55, 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas/parques-e-%C3%A1reas-verdes.html>. Acesso em: 30 maio 2024.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. 2. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2005.

CADORIN, D. A.; MELLO, N. A. DE. Efeitos da impermeabilização dos solos sobre a arborização no Município de Pato Branco – PR. *Synergismus scyentifica*, v. 6, n. 1, 2011.

CAMPOS, R. B. F.; CASTRO, J. M. Áreas Verdes: Espaços Urbanos Negligenciados Impactando a Saúde. *Saúde & Transformação Social*, v. 8, n. 1, p. 106-116, 2017.

CARVALHO, J. C. F.; SANTOS, V. P. DOS; SCHUELER, A. S. DE. Proposta para redução do escoamento superficial das águas pluviais em Soropédica-RJ. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 3, n. 19, p. 98-110, 2015.

CARVALHO, M. A. T. de; WALDE, D. H. G. Estimativa de impermeabilização do solo urbano correlacionada à densidade populacional na fronteira Brasil – Bolívia. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 34792-34815, 2022.

CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J. C.; GUZZO, P.; ROCHA, Y. T. Proposição de terminologia para o verde urbano. **Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. Órgão oficial de divulgação da SBAU, ano VII, n. 3, 1999.

CETESB - **Companhia De Tecnologia de Saneamento Ambiental. Drenagem urbana: manual de projeto**. São Paulo: CETESB, 1986.

CRUZ, J. D. S.; ALVES, I. H. C.; ALVES, C. DA S.; FIGUEIREDO, N. M. DE; GOMES, E. P.; COSTA, C. E. A. DE S. Equações de chuvas intensas com dados cpc morphing technique (cmorph) para o município de Altamira-pa. **Irriga**, v. 24, n. 1, p. 192-207, 2019.

CRUZ, W. L. DA; CASTRO, R. M. S.; SANTOS, G. I. F. A. DOS; PEREIRA, E. D. Análise da impermeabilidade do solo na área da península d’ponta da areia – São Luís/MA. **Revista GeoUECE**, v. 8, n. 14, 2019.

DEPARTAMENTO de águas e energia elétrica de São Paulo. DP-H06. **Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “I-Pai-Wu”**. São Paulo, 1999.

FEIO, E.F.; HERRERA, R.C.; VELOSO, G.A.; JUNIOR, H.O. e S. Expansão urbana e sua influência no microclima na cidade de Altamira, PA. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 110, p. 282-297, 2023.

FIGUEIREDO, M.; PRADO, V.; MELILLO, R. C. S. A importância dos parques urbanos e áreas verdes: estudo de caso do parque Luís Latorre em Itatiba/SP. **Revista Engenharia**, v. 11, n. 1, p. 5-28, 2019.

FRANÇA, D. A. F.; SANTOS, V. C. DOS; COSTA, C. E. A. DE S. Análise do escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas no leste da Amazônia. **Conexões, ciências e tecnologia**, v. 16, p. 1-6, 2022.

GARCIA, C.; JABUR, A. S.; OKAWA, C. M. P.; ILDEFONSO, J. S. Avaliação da drenagem urbana no entorno do Parque Florestal dos Pioneiros. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, p. 3-9, 2015.

GONÇALVES, L. M.; MONTEIRO, P. H. da S.; SANTOS, L. S. dos; MAIA, N. J. C.; ROSAL, L. F. Arborização Urbana: a importância do seu planejamento para qualidade de vida nas cidades. **Ensaio e Ciência Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 22, n. 2, p. 128-136, 2018.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília: IBGE, 2023**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 30 maio 2024.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes**, 1928.

LACATELLI, M.M.; SANCHES, P.M.; POLIZEL, J.L.; FILHO, D. F. da S. Planejamento de espaços verdes para minimização do escoamento superficial das águas pluviais. **Revista Labverde**, v.8, n. 2, artigo 4, p.75-89, 2017.

LIMA, W. D. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008.

LOPES, W. G. R.; JUNIOR, J. M. L.; MATOS, K. C. Impactos do crescimento de áreas impermeáveis e o uso de medidas alternativas para a drenagem urbana. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-19, 2020.

MOURA, E. F. da; SILVA, S. R. da. Estudo do grau de impermeabilidade do solo e proposta de técnica de drenagem urbana sustentável em área do Recife-PE. **Revista Nacional de gerenciamento de cidades**, v. 3, n. 15, p. 78-93, 2015.

PARRA, G. G.; TEIXEIRA, B. A. do N. Análise de cenários resultantes da impermeabilização de espaços destinados à circulação e permanência de pedestres. urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 12, p. 1-17, 2020.

PIMENTEL, C.A.C.; RAVENA, N. Planejamento urbano funcionalista em Altamira-PA: um retrato histórico de duas principais transformações e perspectivas. **Revista Univap**, v. 28, n. 60, p. 1-12, 2022.

PIVETTA, K. F. L.; FILHO, D. F. da S. Arborização urbana. **Boletim acadêmico**. Série Arborização Urbana, UNESP/FCAV/FUNEP, Jaboticabal, SP, 2002.

SCHEUER, J. M.; NEVES, S. M. A. da S. Planejamento urbano, áreas verdes e qualidade de vida. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 11, n. 5, p. 59-73, 2016.

SETTA, B.R.S. Análise dos serviços ecossistêmicos de um espaço verde no município de Volta Redonda – RJ. **Revista Labverde**, n. 11, artigo 2, p. 34-50, 2016.

SILVA, J.O.R. da; OLIVEIRA, M.S. de. Arborização urbana e a educação ambiental como fator conscientizador. **Scientia Generalis**, v. 1, n. 2, p. 49-59, 2020.

SILVA, M.R.V. da; LIMA, A.B.P.; SANTOS, E.R. dos; GONZAGA, G.B.M. Jardim de chuva: técnicas compensatórias para sistemas de drenagem. **Ciências exatas e tecnológicas**, v. 5, n. 1, p. 13-20, 2018.

SILVA, R. C.; TEIXEIRA, K. de O.; SANTOS, V. A. Elaboração de projeto de jardim de chuvas para minimização das enchentes. **Revista Construindo**, v. 12, n. 1, p. 56-66, 2020.

SIQUEIRA, M.M.; ROCHA, W.T.; VIEIRA, A.P. de S.; DÖLL, M.M.R.; VUITIK, G.A. Método de cálculo de vazão de escoamento superficial em bacias rurais de diferentes escalas. **Revista de engenharia e tecnologia**, v. 15, n. 1, p. 1-12, 2023.

SOUZA, R. O. R. de M.; SCARAMUSSA, P. H. M.; AMARAL, M. A. C. M. do; PEREIRA NETO, J. A.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. R. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 999-1005, 2012.

TIBURCIO, J.; SARAIVA, C. W.; TARGA, M. dos S. Ações antrópicas relacionadas à taxa de impermeabilização. **Revista Técnica Ciências Ambientais**, v. 1, n. 7, p. 1-17, 2023.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Programa de modernização do setor Saneamento. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Ministério das Cidades, 2005.

YUGUE, L. F.; VIANA, V. J. Potencial da arborização urbana para infiltração e interceptação das águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro. **Revista Augusts**, v. 31, n. 58, p. 95-119, 2022.

Anexo

Tabela 1: Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Altamira - PA

Anos	Precipitação	Anos	Precipitação	Anos	Precipitação	Anos	Precipitação
2014	93,80	2004	325,10	1994	95,40	1984	162,80
2013	137,20	2003	390,40	1993	98,70	1983	87,80
2012	90,40	2002	380,80	1992	94,20	1982	223,60
2011	85,30	2001	419,80	1991	120,00	1981	107,60
2010	101,60	2000	533,10	1990	51,20	1980	220,80
2009	226,00	1999	526,90	1989	72,90	1979	105,70
2008	90,00	1998	83,10	1988	124,40	1978	86,40
2007	446,00	1997	92,60	1987	79,80	1977	84,20
2006	410,20	1996	105,40	1986	97,20	1976	87,70
2005	566,90	1995	144,20	1985	190,30	1975	115,00

Fonte: HIDROWEB

Tabela 2: Relação de Precipitação, duração e frequência (anos) para a cidade de Altamira - PA

Período de retorno (Anos)	2	10	20	50	80	100
Duração						
30 minutos	37,8043	89,2162	113,8036	149,6702	169,7221	179,6617
1 horas	51,0869	120,5624	153,7887	202,2571	229,3542	242,7861
24 horas	121,6354	287,0533	366,1636	481,5644	546,0814	578,0621

Fonte: Autoria própria (2024)