

**ENAN
PUR 2023**
Belém 22 a 26 de maio



Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem: O uso do LIM no caso da Bacia do Mata-Fome em Belém do Pará

Sessão Temática 07: [Socio] tecnologia para o planejamento urbano e regional

Tainah Frota Carvalho - Universidade Federal do Ceará
Newton Célio Becker de Moura - Universidade Federal do Ceará
João Pedro Deodato Barreto - Universidade Federal do Ceará
Victor Silva da Costa - Universidade Federal do Ceará
Sâmyla Alves - Universidade Federal do Pará

O crescimento demográfico, que impulsionou o crescimento urbano nos séculos XX e XXI, aliado às mudanças climáticas impõe aos planejadores da paisagem urbana novos desafios, dentre estes o problema da drenagem urbana se torna assunto recorrente à medida que o espaço natural se modifica para atender aos anseios das cidades modernas. Estas modificam e substituem a dinâmica natural de escoamento por infraestruturas higienistas que muitas vezes só conseguem repassar a problemática adiante. É neste cenário que as infraestruturas verdes surgem como meio de resolução para o problemas da drenagem urbana, mimetizando os processos antes presentes no espaço e trazendo ganhos socioespaciais diversos. Nesse contexto, a modelagem da informação aliada às infraestruturas verdes surge como uma importante ferramenta para análise e intervenção na cidade, melhor orientando os planejadores urbanos, municiado-os de informações e experimentações previamente realizadas em ambiente computacional. Dessa forma o objetivo desse artigo é demonstrar as experimentações desenvolvidas a partir da modelagem da informação aplicada à paisagem na Bacia do Mata-Fome na cidade de Belém do Pará a fim de orientar uma modificação no contexto observado por meio da utilização de infraestruturas verdes com o viés das melhores práticas de manejo das águas urbanas.

LIM; Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem; Modelagem da Informação; Soluções Baseadas na Natureza; Infraestrutura Verde

Landscape Information Modelling: The use of LIM in the case of Mata-Fome Basin in Belém do Pará

Population growth, which boosted urban growth in the XX and XXI centuries, coupled with climate change, imposes new challenges on urban landscape planners, among these the problem of urban drainage becomes a recurring issue as natural space changes to meet the longings of modern cities. These modify and replace the natural flow dynamics with hygienist infrastructures that often can only pass on the problem. It is in this scenario that green infrastructures emerge as a means of solving the problems of urban drainage, mimetizing the processes previously present in space and bringing diverse socio-spatial gains. In this context, information modeling combined with green infrastructures emerges as an important tool for analysis and intervention in the city, better guiding urban planners, information companies and experiments previously carried out in a computational environment. In this context, the modeling of information combined with green infrastructures emerges as an important tool for analysis and intervention in the city, better guiding urban planners, munitions of information and experimentation previously carried out in a computational environment. Thus, the aim of this article is to demonstrate the experiments developed from the modeling of information applied to the landscape in the Mata-Fome Basin in the city of Belém do Pará in order to guide a modification in the context observed through the use of green infrastructures with the bias of the best practices of urban water management.

LIM; Landscape Information Modelling; Information Modelling; Nature Based Solutions; Green Infrastructure

Modelado de Información Aplicado al Paisaje: El uso de LIM en el caso de la Cuenca Mata-Fome en Belém do Pará

El crecimiento demográfico, que impulsó el crecimiento urbano en los siglos XX y XXI, combinado con el cambio climático, impone nuevos desafíos a los planificadores del paisaje urbano, entre los que el problema del drenaje urbano se convierte en un tema recurrente a medida que el espacio natural se modifica para satisfacer las necesidades de las aspiraciones de las ciudades modernas. Estos modifican y reemplazan la dinámica del flujo natural con infraestructuras higienistas que a menudo solo logran transmitir el problema aún más. Es en este escenario que la infraestructura verde emerge como un medio para resolver los problemas de drenaje urbano, mimetizando los procesos previamente presentes en el espacio y trayendo diversas ganancias socioespaciales. En este contexto, el modelado de información combinado con infraestructuras verdes emerge como una importante herramienta de análisis e intervención en la ciudad, orientando mejor a los urbanistas, brindándoles información y experimentos realizados previamente en un entorno computacional. Así, el objetivo de este artículo es demostrar los experimentos desarrollados a partir de la modelación de información aplicada al paisaje en la Cuenca Mata-Fome en la ciudad de Belém do Pará con el fin de orientar un cambio en el contexto observado a través del uso del verde. Infraestructuras con el sesgo de las mejores prácticas de gestión del agua urbana.

LIM; Landscape Information Modelling; Information Modelling; Nature Based Solutions; Green Infrastructure

1. Introdução

Não é novidade que o século XXI impõe novos desafios aos designers e planejadores da paisagem urbana; a necessidade de cidades mais sustentáveis e saudáveis é urgente graças às consequências geradas pelas mudanças climáticas (IPCC, 2013). Tal cenário pressiona os gestores das urbes por melhores estratégias de ação e soluções mais inteligentes para as questões da atualidade.

Ao longo dos últimos dois anos, foram realizadas pelos autores pesquisas na área da tecnologia da informação voltadas a diagnóstico e resolução de problemas de drenagem em centros urbanos. Foram encontradas soluções que enfatizam a utilização de infraestruturas verdes, as quais, juntamente com os sistemas de drenagem tradicionais (infraestrutura cinza), possibilitam arranjos mais resilientes para as cidades. Entende-se a modelagem da informação como ferramenta auxiliar ideal para a realização de projetos urbanos. Ela trabalha com um sistema de criação de diferentes cenários e alternativas que podem ser ensaiadas e estudadas para a escolha do cenário ideal para as futuras cidades.

O território escolhido para o caso de estudo deste trabalho foi a Bacia do Mata-Fome, o território da Bacia é típico da área de expansão da periferia metropolitana (RMB) de Belém do Pará, inclusive, o nome da bacia remete às primeiras ocupações ribeirinhas que utilizavam as águas como fonte de alimento (SILVA & LUZ, 2016). Anteriormente ao processo de ocupação, a área era conformada por uma floresta, que foi sendo reduzida conforme o avanço do processo de urbanização da região. Encontrou-se no estudo de caso uma oportunidade por se tratar de uma área alagável que está atualmente densamente ocupada, ocasionando conflitos internos na região, além de ser um território que sofrerá os impactos das mudanças climáticas nos próximos anos por estar sujeito às alterações de nível da maré.

A partir do diagnóstico do caso de estudo, foi possível criar de diferentes cenários para a resolução de um mesmo problema, dos quais apenas um foi escolhido para maior detalhamento. Os resultados deste trabalho serão de grande valia para o aprofundamento do uso da modelagem da informação como ferramenta em projetos urbanos e paisagísticos.

1.1 Mudanças Climáticas

Oceanos e cursos de água foram profundamente afetados pelo aquecimento global, resultando em uma temperatura mais alta da água, devido a um aumento substancial no armazenamento de calor do oceano desde os anos 1950. Consequentemente, a expansão térmica do oceano, o derretimento das geleiras e o aumento da precipitação em várias regiões do globo são as principais causas de aumento do nível do mar (IPCC, 2013). A previsão de aumento médio do nível do mar até 2050 de 15 a 30 centímetros pode provocar aumento das manchas de alagamento e enchentes, que terão riscos potencializados pela falta de cobertura vegetal e aumento da área impermeabilizada (VILLAÇA, 1998; HARVEY, 2014).

Das 42 regiões metropolitanas brasileiras, 18 se encontram na zona costeira ou são influenciadas por ela. Portanto, as cidades costeiras brasileiras demandam um planejamento estratégico voltado para priorizar investimentos e medidas de adaptação frente às mudanças climáticas. Redução de riscos e minimização dos impactos ocasionados pelos eventos extremos associados a inundações costeiras, enchentes, alagamentos, movimentos de massa e erosão em zonas costeiras deverão ser parte integrante desse planejamento (PBMC, 2016).

Segundo o PBMC (2020), ao longo do século XXI, as temperaturas na Amazônia aumentaram conforme o aumento da concentração dos gases estufa. Futuras previsões projetam um crescimento dessas temperaturas entre 3oC-3,5oC até o ano de 2070. Segundo Moraes et al (2022), a partir de um estudo da evolução de dados do clima na Região Metropolitana de Belém, num período de 35 anos, constatou-se que o processo de antropização acarretou em mudanças no uso da terra numa escala de mais de 551,73 km², acarretando em uma alteração do microclima desta área. Entre os anos de 1985 e 2020, pode-se perceber não apenas uma variação na precipitação anual no município de Belém, mas também na amplitude térmica na região, chegando a 10° C, e um aumento da temperatura máxima de 1° C, provocando chuvas mais intensas no período seco. O que se pode perceber com isso é que há uma tendência de intensificação de ameaças que envolvem eventos meteorológicos da RMB, o que se destaca a precipitação intensa, fato este crescente entre os anos de 2011 e 2020.

A infraestrutura de drenagem já não suporta o sistema atual e está sempre sendo dimensionada (como no resto do país) para lidar com vazões específicas, considerando eventos que ocorreram no passado. Tal modelo estacionário não é o ideal, pois o mesmo tende a não absorver as demandas futuras, pondo em risco os habitantes da urbe (MOURA, 2014). Por fim, diante das questões apresentadas, vê-se como necessária a aplicação de práticas que promovam uma maior resiliência às cidades, tendo em vista a imprevisibilidade trazida pelos impactos das mudanças climáticas.

1.2 Resiliência à Inundações

O conceito de resiliência aliado ao desenvolvimento de cidades e territórios veio a surgir oficialmente em iniciativas políticas no ano de 2005, com a apresentação do documento “Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations” (COLUCCI, 2012). O termo “Cidade Resiliente” foi mundialmente reconhecido a partir do livro editado por Vale e Campanella (2005), que tem como título “A Cidade Resiliente” (GALDERISI et al., 2015). Contudo, a questão só ganhou importância e atenção no ano de 2012, em decorrência das mortes causadas pelo ciclone Sandy no nordeste dos EUA. Nos últimos anos, a popularidade do termo ocorreu, principalmente, devido ao seu uso por organizações internacionais públicas e privadas (GALDERISI et al., 2015).

O interesse por cidades mais preparadas para a ocorrência de eventos catastróficos é devido ao crescente número de pessoas vivendo em zonas urbanas, o que aumenta, conseqüentemente, os riscos urbanos. Outro fator é o aumento da probabilidade de ocorrência de eventos naturais não esperados em decorrência das mudanças climáticas (ARUP, 2015). Segundo a Rockefeller Foundation (2015), a resiliência de uma cidade significa a capacidade de ela funcionar ativamente para que as pessoas que habitam nela (principalmente as pessoas em situações vulneráveis) possam viver com qualidade, não importando os estresses que venham a enfrentar. De forma similar, Galderisi et al. (2015) apresentam a definição geral de cidade resiliente como uma região capaz de absorver pressões externas de forma a se adaptar ou se transformar em decorrência de tais pressões, garantindo a segurança de comunidades estabelecidas e a preservação de suas funções básicas durante uma crise.

Cidades são ecossistemas complexos e, como tais, não possuem apenas uma forma de manifestação da resiliência ou da falta dela. Para facilitar a forma como se entende a complexidade desses fatores, a Rockefeller Foundation (2015) criou um sistema que

compreende 12 objetivos principais para descrever os resultados fundamentais de uma cidade resiliente (Figura 01):

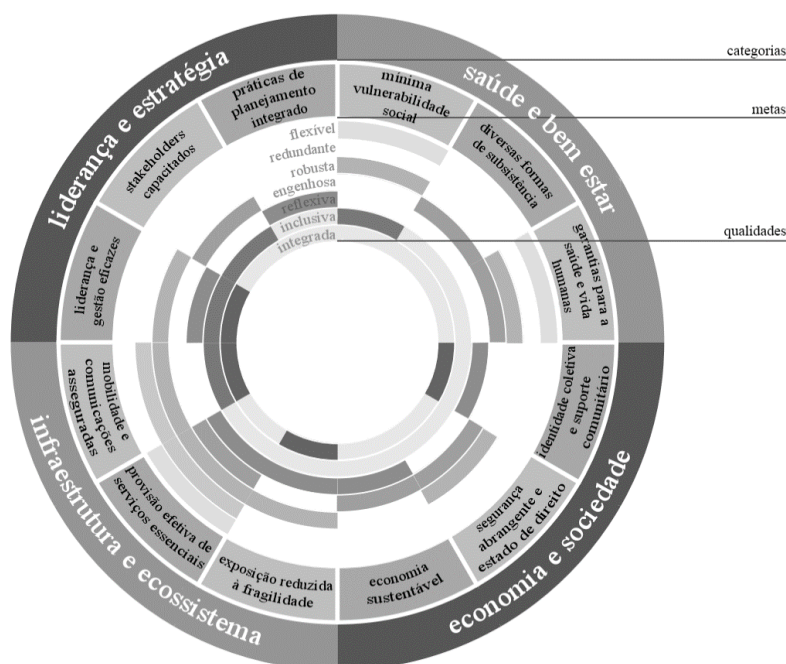


Figura 01: Esquema dos aspectos que compõem uma cidade resiliente. (fonte: The Rockefeller Foundation, 2015, editado por XXXX).

A abordagem resiliente no gerenciamento de risco de inundação trata esses eventos de uma forma diferente da abordagem tradicional, pois se baseia na ideia de multi-equilíbrio mencionada anteriormente, focando-se na resistência. Desse modo, a abordagem inicia com o reconhecimento de enchentes periódicas como uma dinâmica ambiental inerente, pela qual o funcionamento dos sistemas urbanos é naturalmente afetado. Em se tratando do conceito de multi-equilíbrio, prega-se que, a cada evento, o território atingido seja capaz de reajustar suas estruturas e processos internos e construir conhecimentos; logo, estará mais preparado ao longo do tempo.

Construir resiliência urbana a inundações é essencialmente um processo de adaptação: em vez de combater o rio, as cidades vivem com inundações periódicas, permitindo que essas enchentes ocorram para aprender com elas, de modo a se tornarem resilientes às inundações mais extremas. Por fim, esta abordagem também reflete na forma de se projetar para a cidade, a qual, ao invés de recorrer às estruturas inflexíveis à procura da suposta estabilidade ambiental, deve se basear no dinamismo, propondo estruturas mais adaptáveis (LIAO K., 2012).

No Brasil, o modelo de infraestrutura tradicional ainda rege a forma de se abordar os recursos hídricos nos projetos públicos, a partir da implementação de diques, barragens e canalização. Este tratamento gera sérias consequências às cidades brasileiras em eventos de chuvas atípicas.

1.3 Infraestrutura Verde como Alternativa

A infraestrutura verde tem suas origens em dois fundamentos: a proteção e ligação de parques e outras áreas verdes para benefício das pessoas, e a preservação e conexão de áreas naturais para benefício da biodiversidade e para diminuir a fragmentação de habitat (BENEDICT & MACMAHON, 2006). Entende-se a infraestrutura verde como a conexão entre duas palavras: (1) "infraestrutura", que trata do sistema de administração e manejo capaz de fornecer suporte a algum serviço ou função específica. Tal termo, quando colocado dentro do contexto urbano, é entendido como o sistema de serviços públicos de uma cidade, sendo o suporte para manter o

mundo moderno em ordem e pleno funcionamento (MOURA, 2014); já o termo “verde” foi adicionado para trazer a ideia de sustentabilidade à expressão “infraestrutura verde”.

As estratégias de infraestrutura verde consistem em uma rede verde interconectada que oferece soluções imediatas e de longo prazo aos diferentes territórios (CAMERON et al., 2012; BADIU et al., 2014; ROLF et al., 2017; NITA et al., 2018). Na paisagem urbana, essa rede é um sistema de centros (florestas e parques urbanos), estruturas lineares (como árvores de rua ou corpos d’água) e corredores de pedra (jardins privados, telhados verdes etc.) (NITA et al., 2019). Diante das ameaças impostas pelas mudanças climáticas, as infraestruturas verdes são uma abordagem multifuncional que pode reduzir a vulnerabilidade e aumentar a resiliência dos ambientes de estar humano, mas ainda não superaram o uso das infraestruturas tradicionais (“cinzas”). Isso porque as tecnologias são frequentemente avaliadas a partir de uma perspectiva de objetivo único, especialmente quando se trata de mitigação de danos e gerenciamento de risco (ALVES et. al, 2019). Na tomada de decisão, uma avaliação da infraestrutura verde deve fornecer um resultado adequado, que seja voltado para uma solução totalmente verde, cinza ou híbrida.

Procurar soluções para as questões de drenagem urbana sob o viés da infraestrutura verde trouxe à tona a abordagem das Melhores Práticas de Manejo. Tal abordagem consistia inicialmente de coleta, condução e tratamento dos escoamentos pluviais (NOVOTNY et al., 2010). Só recentemente (últimos 15 a 20 anos) houve uma valorização do aproveitamento dos ecossistemas naturais de absorção das águas das chuvas (MOURA, 2014). Tal perspectiva se encaixa, também, ao termo LID (Desenvolvimento de Baixo Impacto), uma abordagem ecológica para o gerenciamento de águas pluviais que procura imitar a hidrologia natural de um local usando medidas descentralizadas de controle em microescala. O LID enfatiza o uso de recursos de drenagem natural de pequena escala, integrados em toda a cidade de forma a reduzir a velocidade da água do escoamento urbano, além de limpá-la e tornar a cidade mais permeável, capturando o escoamento (SHAFIQUE et al., 2015).

2. Referencial Teórico

2.1 Urbanismo e a Complexidade das Novas Urbes

A disciplina do urbanismo surge no século XIX como uma necessidade frente à crescente complexidade dos mecanismos e estruturas que compunham os pólos urbanos mundiais. Até então, as cidades eram entendidas como sistemas mecânicos (como uma máquina), e a função do projetista e/ou planejador era levar a cidade ao devido equilíbrio estático. Os processos que regiam o planejamento da cidade eram vistos de forma linear e estática e previstos de maneira a alcançar planos de ordenamento espacial, que viriam a atuar por um longo período. Tal esquema está fadado a propor atuações muito limitadas que não abrangem a complexidade dos problemas enfrentados (MOURA et al., 2018; SOUSA, 2018).

Com a chegada do século XXI, a globalização e o contínuo avanço das tecnologias de comunicação, as relações entre pessoas e povos passaram por mudanças radicais que afetam diretamente a forma como se vive nas metrópoles. Os zoneamentos homogêneos não são capazes de solucionar os emergentes problemas urbanos atuais (MOURA et al., 2018; FREITAS et al. 2016). A cidade passa a ser vista como uma entidade orgânica que possui multi-equilíbrios; e, para que seja pensada corretamente, a cidade exige um planejamento que esteja em constante análise e mudança – um planejamento múltiplo e flexível (SOUSA, 2018). Para que se possa alcançar esse sistema, é necessário rever o planejamento tradicional e abraçar as incertezas e indefinições naturais da realidade, na busca por uma forma de pensar mais orgânica que não se prenda a uma única linha temporal e estática nas suas etapas (MOURA et al., 2018; FREITAS et al. 2016).

Como consequência desta crescente complexidade, resultado do enorme número de mecanismos em constante mudança presente nas urbes, é necessária uma forma de analisar

este ente de maneira inteligente, e de modo que se abarque tal nível de complexidade. A busca por um modelo, uma representação simplificada dos aspectos pertinentes ao planejamento urbano, onde se possa simular cenários do mundo real, tornou-se algo de interesse aos urbanistas (SOUSA, 2018). Planejadores e gestores sempre utilizaram mapas com o intuito de registrar, apresentar e comunicar informações. Tais representações cartográficas não deixaram de acompanhar o desenvolvimento tecnológico da humanidade e, atualmente, possuem um potencial muito maior de produzir dados e conhecimento (FREITAS et al. 2016; LIMA, 2017).

2.2 Modelagem da Informação no Planejar Urbano

Uma das formas mais utilizadas para se organizar dados territorialmente é através do SIG. Ele surgiu na década de 1990 e é um sistema de computador que possui a habilidade de manusear e georreferenciar dados (LIMA, 2017; FREITAS et al. 2016). Segundo Saboya (2000), citado por Lima (2017, p. 80), o sistema trata os dados de três formas: “a) dados geográficos, isto é, aqueles definidos espacialmente e representados habitualmente por mapas; b) suas características, ou atributos, normalmente compostos por valores alfanuméricos armazenados em forma de tabelas; e c) as relações espaciais entre os elementos, chamadas relações topológicas”.

Por possuir uma interface fácil de manusear e por lidar com os dados geográficos de forma simples, o SIG se popularizou entre profissionais de diferentes áreas que lidam com territórios. Contudo, essa simplicidade pode significar a falta de detalhamento necessário para pensar e projetar o meio urbano nos dias de hoje, sendo necessários modelos mais reais e complexos. O SIG se torna mais útil para análise da cidade existente, porém, é uma ferramenta limitada no estudo de cenários, na sistematização de padrões urbanos e na análise de indicadores legais. Para tal, é necessária a existência de modelos mais complexos que trabalhem com funções descritivas e prescritivas (SOUSA, 2018; FREITAS et al. 2016).

A partir da busca por um modelo mais complexo, capaz de descrever, analisar e prever o comportamento da cidade, pesquisadores procuraram quantificar a partir de modelos matemáticos seus componentes. Tal prática tem ganhado relevância e respaldo nos últimos anos, principalmente ao se relacionar às questões qualitativas. O entendimento do planejador sobre a urbe é intensificado a partir do uso de indicadores urbanos, facilitando a medição de relações entre seus elementos; logo, o emprego de sistemas baseados em tecnologias da informação é de grande ganho para os profissionais gestores e planejadores da cidade contemporânea (MOURA et al., 2018; FREITAS et al. 2016).

O Laboratório de Experiências Digitais (LED) da Universidade Federal do Ceará tem realizado experiências nos últimos anos referentes ao sistema CIM; nelas, faz-se uso de um processo semelhante ao proposto por Beirão (2012), em que é utilizado o programa PostgreSQL como Sistema Gerenciador de Bancos de Dados (SGBDR), o qual se liga ao software CAD Rhinoceros 3D – e, por consequência, ao modelador algorítmico Grasshopper 3D. Por fim, os dados podem ser visualizados e gerenciados também na plataforma SIG; o software QGIS foi empregado (SOUSA, 2018).

2.2 Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem

Até hoje não existe um conceito concreto amplamente difundido ou ferramenta envolvendo a modelagem da informação para a paisagem (LANGE, 2011; CANTRELL et. al., 2017, SCHELLER, 2017). Tendo como base uma extensa revisão de práticas e literatura relacionadas ao tema, quatro diretrizes gerais relativas à modelagem da informação foram detectadas e apontadas, de (i) a (iv), para aplicá-las à paisagem e alcançar os resultados deste trabalho. Considerando a paisagem uma entidade complexa e de múltiplas escalas do ponto de vista da modelagem (LANGE, 2001), uma operação em dois níveis é o mínimo para aplicar a modelagem da informação à paisagem. É possível assumir (i) que uma abordagem baseada em GIS deve

ser buscada para análise do contexto territorial aliada a uma visualização em 3D para elementos da paisagem; (ii) a integração entre o planejamento e o design paisagísticos ou entre as diferentes escalas de um modelo requer uma interface que pode ou não ser linear entre vários programas e plugins.

Visto que as paisagens são essencialmente dinâmicas e resultado de múltiplas interações com a sociedade e o meio ambiente, existem parâmetros relevantes que ainda não podem ser quantificados ou representados graficamente. Portanto, os modelos digitais da paisagem, sejam eles para fins de visualização ou de análise, requerem abstrações e simplificações (ERVIN, 2001). Uma estratégia LIM, considerando as características inerentes da paisagem, (iii) encontra na modelagem paramétrica aliada a algoritmos genéticos uma ferramenta promissora não só na incorporação de complexidade e dinamismo ao design da paisagem, mas também no alcance de modelos em que as relações entre paisagem, meio ambiente e sociedade são mais corretas e precisas.

Por fim, levando em consideração a grande quantidade de atuações e estratégias no planejamento da paisagem, é mais eficiente estabelecer uma metodologia geral para o LIM e depois trabalhar procedimentos específicos para cada caso diferente. Como plano de ação (iv), esta abordagem consiste, em primeiro lugar, na definição de uma ontologia de conceitos e objetos relevantes para a paisagem e, segundo, na formalização dessa ontologia em um modelo. Esse processo permite a apreensão de conhecimento e representação que, a princípio, não estariam disponíveis.

3. Metodologia

Na busca por uma metodologia adequada à pesquisa em questão, entende-se que a pesquisa tradicional, como uma ciência que busca estudar fenômenos organizacionais, não se encaixa no que é buscado. Enquanto em um estudo tradicional nas áreas de ciências naturais ou de humanidades trata de observar e tirar conclusões sobre questões naturais existentes ou sobre as relações sociais entre pessoas, esta pesquisa busca compreender as questões que envolvem um sistema artificial. Para além disso, a pesquisa busca, de forma pragmática (e por meio do design), pensar novas formas de constituir o artefato estudado, levando o conhecimento para além de apenas uma observação e tomada de conclusão alheia aos fatos (LACERDA ET AL, 2013).

Assim, entende-se a Design Science Research (DSR) como metodologia ideal para este trabalho, pois consiste em um processo rigoroso de design de artefatos que resolva os problemas observados, com o intuito de contribuir para pesquisas relacionadas, avaliar diferentes designs e comunicar as conclusões para a respectiva audiência (PEFFERS ET AL., 2007).

Segundo Dresch et al. (2015), o modelo do processo da DSR consiste em 6 etapas: 1) identificação do problema; 2) entendimento do problema a partir da revisão sistemática da literatura; 3) identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas; 4) proposição do artefato para a resolução do problema; 5) design do artefato; 6) desenvolvimento do artefato; 7) avaliação do artefato; 8) conclusões; 9) generalização para uma classe de problemas; 10) comunicação dos resultados. Concluindo, este trabalho pretende seguir estes passos conforme descrito no tópico seguinte.

Nos tópicos 1 e 2 deste artigo foi possível apresentar os problemas iniciais desta pesquisa bem como o referencial teórico que foi tomado como base para a criação do artefato objeto desta pesquisa, a seguir serão tratados os objetivos do artefato e os paços do seu design. Por fim, no tópico 5, apresenta-se a avaliação do artefato, que foi realizada por meio de um estudo de caso na cidade de Belém do Pará. A partir do estudo de caso pôde-se avançar no desenvolvimento das intervenções que se utilizam do LIM como ferramenta integrante de tomada de decisão projetual.

3.1 O Artefato

A plataforma escolhida para desenvolver o algoritmo consiste na interoperabilidade entre o programa Rhicerus© e seu plugin Grasshopper©. O Rhinocerus© 3D é uma plataforma CAD que, além de ser um completo modelador, permite a importação e a exportação de dados em vários tipos de arquivos, possibilitando a interoperabilidade com outros softwares e a renderização de modelos em diversos formatos diferentes. Contudo, o mais importante para esta pesquisa é o fato de que o Rhinocerus© possui como plugin o software Grasshopper©, um programa de criação de algoritmos vinculados à modelagem 3D, com uma interface visual agradável para pesquisadores que não trabalham diretamente com programação computacional (SOUSA, 2018).

Ao se desenvolver esse sistema computacional, criou-se uma máquina virtual capaz de processar diversos parâmetros de entrada (inputs) para se obter, também, diversas possibilidades de cenários de saída (outputs), sem a necessidade de refazer todo o trabalho. Por fim, a partir das simulações geradas pela máquina, um único cenário deverá ser escolhido. O algoritmo tem como foco a complementação do trabalho do projetista paisagista no que tange a hidrologia urbana. O mesmo se apresenta em duas etapas do trabalho, no diagnóstico da paisagem para uma melhor tomada de decisão e, posteriormente, auxiliando no design da intervenção escolhida. O produto é constituído por imagens e explicações das partes que compõem a intervenção.

3.2 Diagnóstico da Paisagem: Análise da Vazão

Para se chegar a uma melhor tomada de decisão no que concerne à disposição de equipamentos de infraestrutura no local de atuação, primeiramente é realizada uma análise pluvial. Tal análise é processada no algoritmo por meio da simulação geométrica do comportamento hídrico no terreno em questão (através das suas curvas de nível), a partir da qual se obtém uma representação gráfica do caimento pluvial. Ela tem o intuito de delimitar uma área de impacto pluvial para local de estudo, ou seja, toda a região que contribui para o corpo hídrico, esta região pode estar fora ou dentro dos limites estipulados pelo poder público.

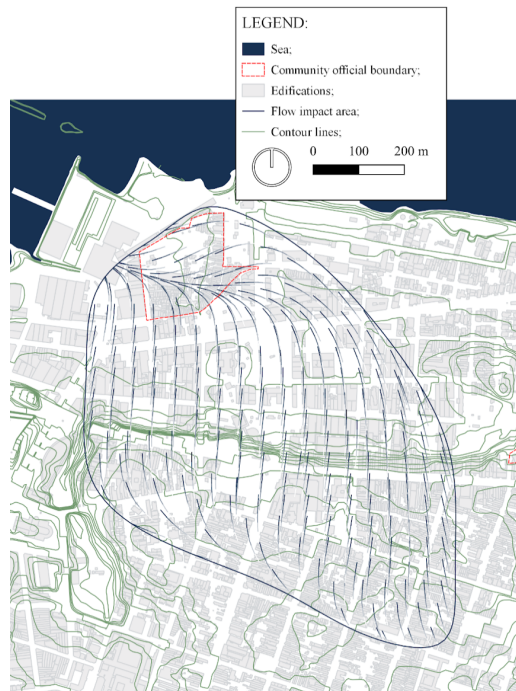


Figura 02: Mapa representando a área de impacto pluvial no caso da comunidade do Poço da Draga em Fortaleza, CE. (fonte: MOURA & CARVALHO, 2020).

Após a delimitação da área de contribuição pluvial, uma segunda sequência de simulações é realizada, de forma a se analisar mais detalhadamente a área de impacto, uma vez que será a

área alvo da intervenção deste trabalho. Primeiramente, a análise do caimento hídrico é refeita; desta vez, mais detalhada, de forma que os resultados sejam mais precisos e que se possa extrair diferentes informações numéricas e figurativas para auxílio na posterior tomada de decisão. A partir dessa análise, é possível gerar imagens gráficas que ilustram a distância percorrida até o corpo hídrico, assim como é possível obter tais valores de distância dentro do algoritmo.

Em seguida, uma equação empírica é usada para o cálculo do escoamento superficial na área de impacto estudada. A mesma tem como intuito obter um volume de demanda de reservação ou absorção desta água por parte dos equipamentos de infraestrutura e tem como resultado um valor em litros por hora (SILVA et al., 2013). O volume calculado que será convertido em capacidade de absorção é assim definido devido à importância da redundância, flexibilidade e robustez na hora de pensar uma infraestrutura mais resiliente e, conseqüentemente, uma cidade mais resiliente. A intenção é criar um cenário de intervenção que se prepare para o futuro ao invés de focar nas questões presentes e apenas esperar que o problema bata à porta de quem tem menos condições de lidar com ele.

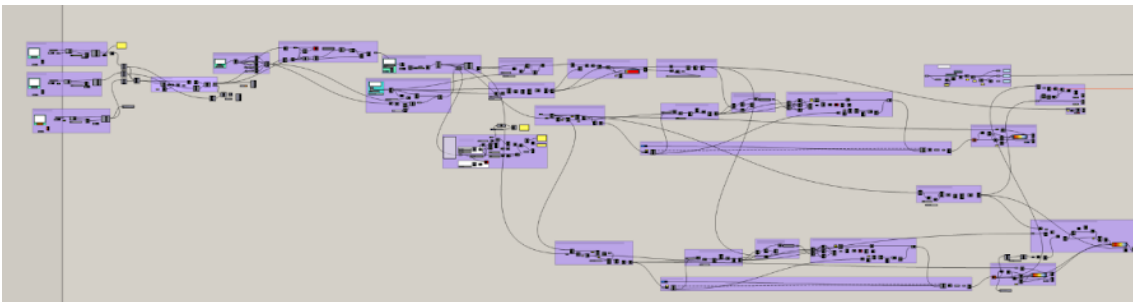


Figura 03: Algoritmo completo no ambiente de programação visual (fonte: elaborado por XXXX).

3.3 Design da Paisagem: Posicionamento de Biovaletas

A fim de compreender a área analisada considerando a complexidade de diferentes camadas, optou-se por utilizar um algoritmo que é capaz de inter-relacionar diferentes dados e aspectos urbanos, seu objetivo é indicar quais locais a implementação de Jardins de Chuva e Biovaletas seriam mais eficazes considerando a gestão e tratamento das águas pluviais dentro da cidade. O objetivo é favorecer a implantação desses equipamentos nos locais onde são mais necessários, ou seja, realocar o verde urbano para as áreas da cidade em que é mais demandado.

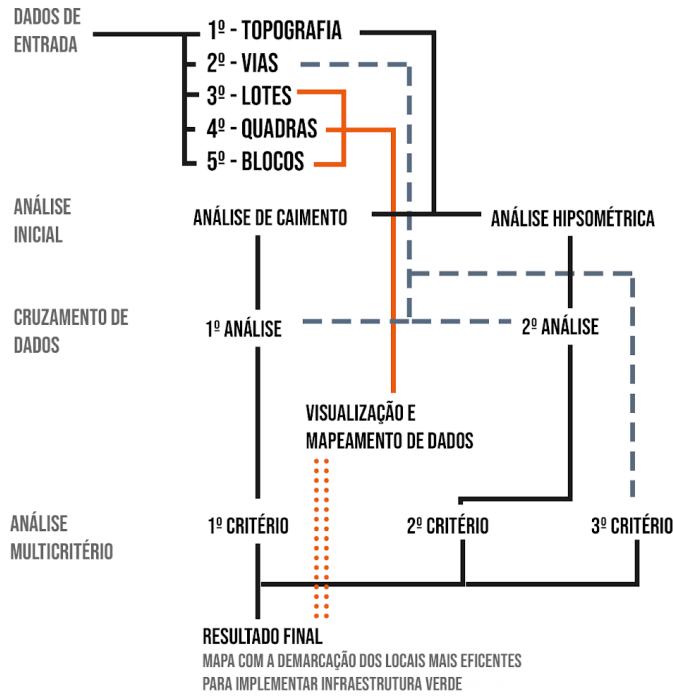


Figura 04: Estrutura de Fluxo de Dados do Algoritmo (fonte: elaborado por XXXX).

Como resultado, o algoritmo é capaz de construir uma série de mapas através de uma abordagem visual que utiliza as vias como dados para os gráficos. Isso permite ao leitor uma melhor compreensão da área e facilita o entendimento do comportamento d’água em uma malha urbana complexa. O foco é que o planejador urbano tenha informações suficientes para tomar uma decisão mais orientada no que tange a escolha do posicionamento de ferramentas de infraestrutura verde.

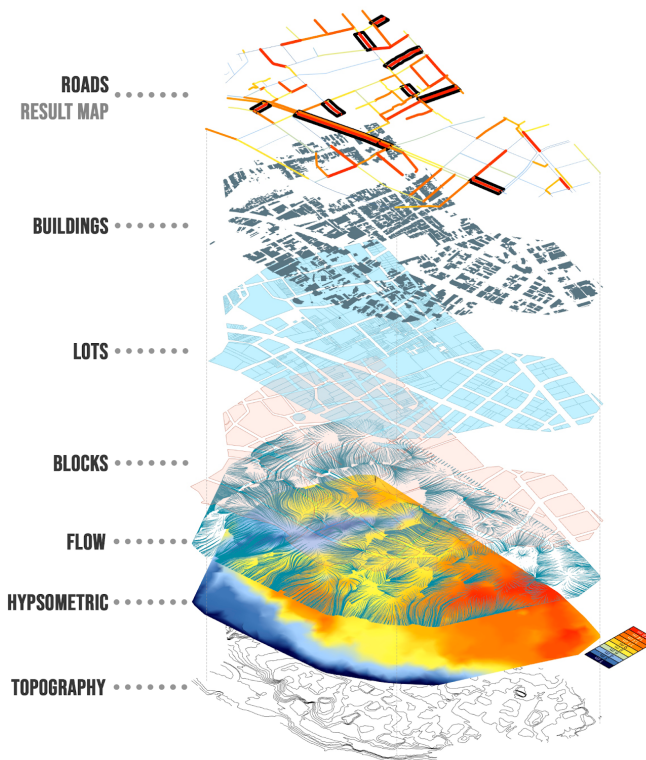


Figura 05: Camadas utilizadas na análise multicritério. (fonte: elaborado por XXXX).

3.3 Design da Paisagem: Bacia de Retenção

A bacia de retenção como parte de uma intervenção é uma forma eficiente de absorver parte da água pluvial da região estudada, além de ser uma forma de delimitar oficialmente o lugar da água, como um lugar de apreciar e um lugar da natureza. Essa nova bacia é constituída por um eixo principal, o qual preserva os locais de entrada e saída da água já presentes no local, e por novos afluentes de menor calibre, para absorver outras entradas do sistema de drenagem. De forma paralela aos eixos de circulação principal da água, também estão presentes vales que servem para a absorção em períodos de cheia, de forma que o corpo hídrico não invada a comunidade de maneira não planejada. Na realização do design, procura-se o retorno do corpo hídrico a um aspecto que mimetiza o pré-urbano, respeitando a topografia do território na busca de um equilíbrio entre infraestrutura verde e infraestrutura cinza.

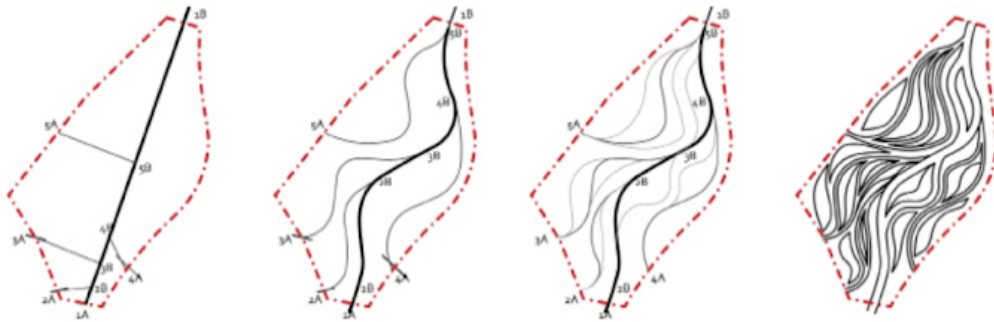


Figura 06: Processo de decomposição formal e simplificação formal. (fonte: MOURA et al., 2018).

A forma como se chegou ao resultado apresentado foi através da aplicação de um algoritmo de design produzido pela autora e pelos pesquisadores Bruno Raviolo, Eugênio Moreira e Newton Becker, no Laboratório de Pesquisa Ensino e Extensão em Projeto Digital do Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Design da Universidade Federal do Ceará (UFC) (MOURA et al., 2018). O algoritmo não deixa de ser uma forma de se aplicar o conceito do LIM, tendo sido realizado nos programas Rhinocerus© e Grasshopper©.



Figura 07: Perspectiva da intervenção proposta pela equipe do Plano Integrado de Regularização Fundiária (PIRF) para praça na ZEIS do Bom Jardim. (fonte: BARREIRA et al., 2019).

4. Design da Paisagem: Bacia de Retenção

4.1. Belém do Pará e sua Relação com a Infraestrutura

Durante o processo de urbanização e metropolização da capital do Pará, a paisagem natural não só foi reduzida como negligenciada em vistas aos interesses econômicos e

imobiliários na região. Por conta disso, a região metropolitana de Belém reivindicou os eixos rodoviários e tomou-os como vetores de sua expansão, em contrapartida às margens dos rios, em virtude da dificuldade de articulação dos processos fundiário, como aponta Cardoso (CARDOSO et al, 2016), por parte dos agentes produtores do espaço urbano. O que se pode observar como consequência desse padrão de expansão da cidade, foi, além da redução da massa vegetal, a impermeabilização dos solos e a supressão das áreas vazias, bem como a canalização e o estrangulamento dos cursos d'água (o que modificou os seus padrões hídricos), as características do clima e da pluviosidade amazônia (que foram completamente desconsideradas), e um processo de marginalização e adensamento da população, acarretando numa inacessibilidade à infraestrutura urbana e ao saneamento básico adequado. Dessa forma, os riscos ambientais foram gradativamente sendo construídos nas baixadas e periferias de Belém, à medida em que a ocupação e a expansão da cidade não seguiram de acordo com os estudos de ecologia urbana, acarretando em consequência negativas não só ecologias e urbanas, mas igualmente sociais e políticas (MIRANDA, 2020).



Figura 08: Vista Satélite da Bacia do Mata-Fome (perímetro em vermelho), acima em setembro de 2004 e abaixo em julho de 2022 (Fonte: Google Earth, editado por XXXX).

Entre os anos de 1980 e 2000, a Bacia do Una foi a única bacia hidrográfica que compõe a área de expansão de Belém a receber uma macrodrenagem. Inserida também na Primeira Léguas Patrimonial, esta extensa bacia persiste com graves características de precariedade de ocupação, apesar das melhorias na drenagem (CRUZ, 2018). Igualmente, as outras bacias hidrográficas da região de expansão da capital paraense possuem alta densidade populacional. As bacias do Paracuri e de Mata Fome, por exemplo, são as mais densamente ocupadas e são, sem sua maioria, ocupadas por assentamentos em estado de precariedade no que diz respeito ao acesso à infraestrutura. (PEREIRA, 2008).

A tradicional visão técnica, entretanto, tem sido insuficiente. Aplicada à canalização e aterramento dos cursos d'água, a medida tem apenas transferido o volume de água para outro

ponto da bacia. Como bem observou Miranda (2020), a inundação em Belém vem se agravando em virtude da forma como a ocupa o dos assentamentos acontece e pelo regime das marés. Os alagamentos que ocorrem na região são também resultado de uma deficitária rede de drenagem, não são inadequada mas insuficiente para atender o centro e a periferia por ser incapaz de suportar o volume escoado de  gua. Como pode ser observado na Figura 09, nas manchas de alagamento da cidade com sinaliza o das áreas atendidas pelas redes de drenagem, constata-se que as inunda es ultrapassam as várzeas (baixadas), além de inundarem as áreas de terra firme, principalmente onde há menor infraestrutura e maior concentra o de pessoas de menor poder aquisitivo.

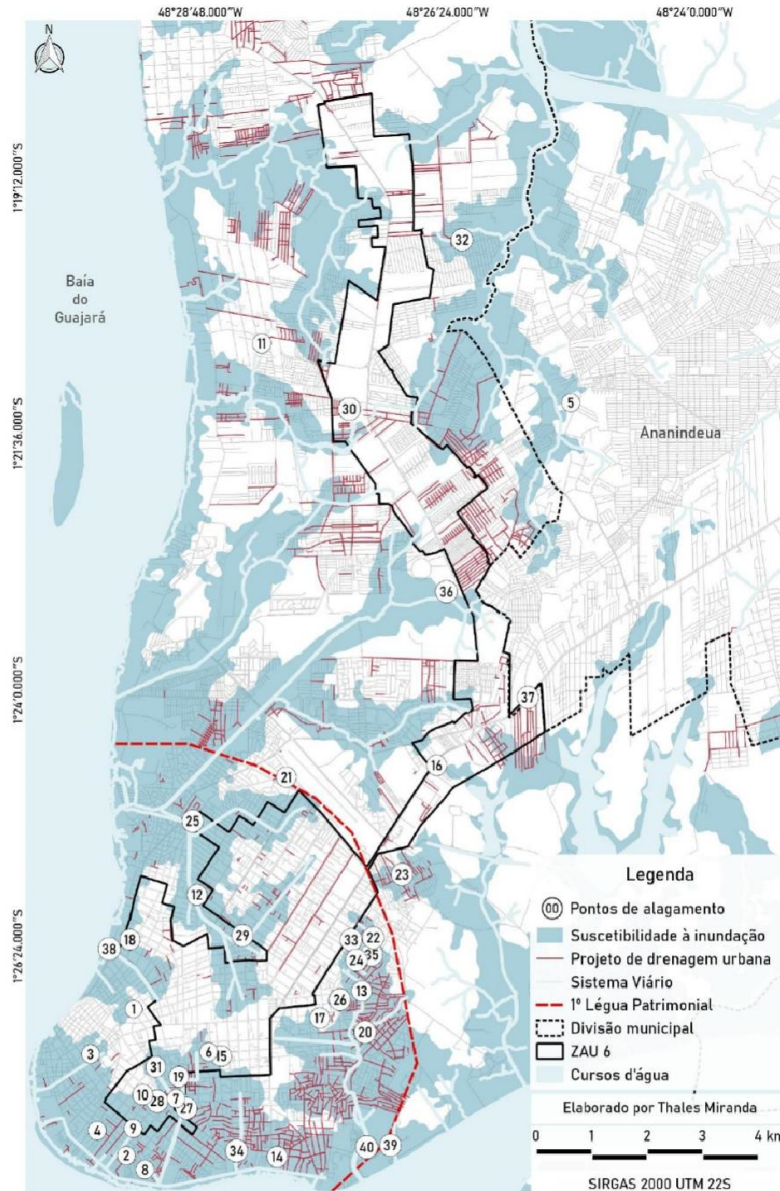


Figura 09: Carta de suscetibilidade   inunda o para o território de Belém com pontos de alagamento para março de 2020 (fonte: MIRANDA, p. 155, 2020).

A ec loga Vânia Neu (2022) destaca que   necessário rever o relacionamento das pessoas com os rios urbanos, e lembrar que o mesmo   fortemente impactado pelo processo de urbaniza o; a ec loga destaca a urgência em devolver a capacidade de infiltra o de água, por meio de tecnologias baseadas na natureza. O atual secretário ambiental de Belém reforça esta ideia ao apontar a necessidade de investimento na cidade em potencialidades como a agricultura urbana, para garantir segurança alimentar e combater a impermeabiliza o do solo (SOUZA, 2022). Levando em considera o a resiliência urbana necessária para se lidar com os impactos acarretados pelas mudanças climáticas, a infraestrutura hídrica da cidade de Belém do Pará não

é eficiente. As infraestruturas convencionais contribuem para o reforço das desigualdades socioambientais observadas na área, além de não resolverem os problemas de enchentes e alagamentos. As soluções de infraestrutura e, especialmente, de saneamento para a área devem ser planejadas de forma a integrar os processos sociais e ambientais. Assim, é preciso elaborar soluções integradas que valorizem as potencialidades da paisagem natural, a relação das pessoas com essa paisagem e a cultura habitacional das mesmas.

4.2. Caracterização da Bacia do Mata-Fome

A bacia faz fronteira ao norte com a Bacia do Cajé, ao sul com a Bacia de Val-de-Cans, ao leste com a Bacia do Maguari e a oeste é delimitada pela Baía de Guajará. Possui uma área de aproximadamente 6,6 km² onde vive uma população de 66.418 pessoas de acordo com o censo demográfico realizado pelo IBGE (2010). Sua hidrografia é composta de 5 canais fluviais, dos quais destaca-se o “canal” principal, de mesmo nome da bacia (Canal, e não mais rio, Mata-Fome) com nascente próxima à Avenida Augusto Montenegro e fluxo de águas no sentido Leste-Oeste, em direção a Baía de Guajará, dois canais ao norte fluem em sentido norte-sul e deságuam no canal principal, e dois canais ao sul, cujas nascentes estão localizadas em áreas institucionais, deságuam nas águas da Baía de Guajará. (SILVA & RODRIGUES, 2019).

Anteriormente ao processo de ocupação, a área era conformada por uma floresta, que foi sendo reduzida conforme o avanço do processo de urbanização da região. Silva e Rodrigues (2019) identificaram que entre os anos de 2006 a 2018, houve uma redução no índice de cobertura vegetal de 13% na Bacia do Mata-Fome, os autores apontaram que embora existam grandes manchas verdes na bacia, a qualidade ambiental oscila entre média e baixa, visto que essas áreas são inacessíveis e insuficientes para a quantidade de moradores que a habitam. Além disso, as áreas verdes e permeáveis ainda presentes estão apenas preservadas nas áreas institucionais, sendo as áreas de cota altimétrica mais baixas são desprovidas de permeabilidade (Figura 11). Segundo Carmona (2010), há ausência de mata ciliar nas áreas próximas às margens do igarapé Mata-Fome, em decorrência da ocupação das planícies de inundação e áreas de várzea, o que promove erosão e assoreamento em toda a margem.

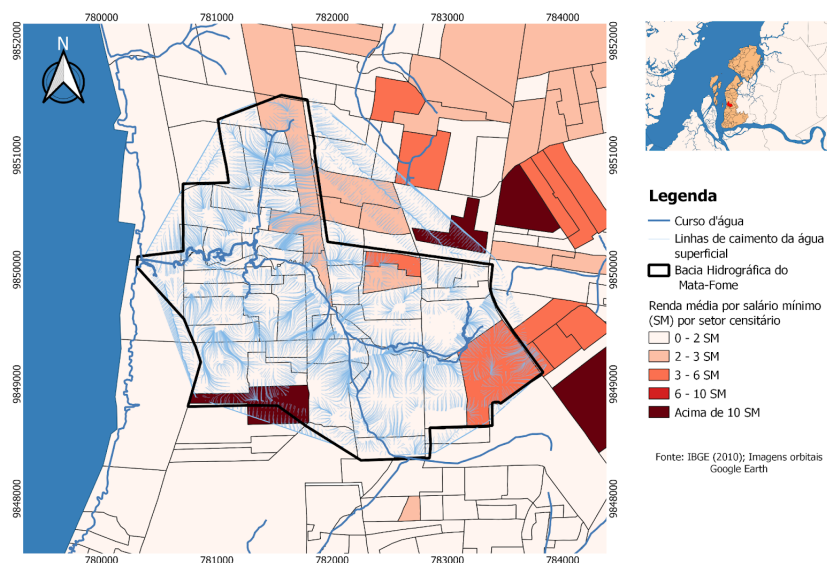


Figura 10: Renda média por salário mínimo (SM) por setor censitário para a Região Metropolitana de Belém (fonte: IBGE 2010 e Modelagem de caimento das águas no Rhinoceros por XXXX, 2022).

A ocupação do território da Bacia do Mata-Fome é típica da área de expansão da RMB, inclusive, o nome da bacia remete às primeiras ocupações ribeirinhas que utilizavam as águas como fonte de alimento (SILVA & LUZ, 2016). O perfil socioeconômico da área é majoritariamente de famílias pobres (até 2 salários mínimos), com ocorrências de diferentes perfis socioeconômicos em função da presença de conjuntos habitacionais e empreendimentos privados na área. Na área existem diferentes tipologias de ocupação do solo: palafitas e construções sobre pilotis, casas de alvenaria; e quanto ao uso, além das habitações individuais há empreendimentos privados de médio porte de serviço e comércio e empreendimentos privados habitacionais.

Miranda (2020) ainda demonstra que as desigualdades socioambientais na RMB contam com uma correlação entre inundação, raça e classe, apontando que a dinâmica socioespacial de Belém está relacionada a injustiças e racismo socioambiental. Este fenômeno se manifesta na Bacia do mata-fome, na medida em que novas soluções habitacionais se impõem, à revelia da presença da comunidade ribeirinha e da prática de agricultura urbana; tanto o modo de morar nas palafitas quanto de produzir a partir do manejo da terra deveriam ser inseridos no processo de caracterização oficial da área, e não negados como inadequados.

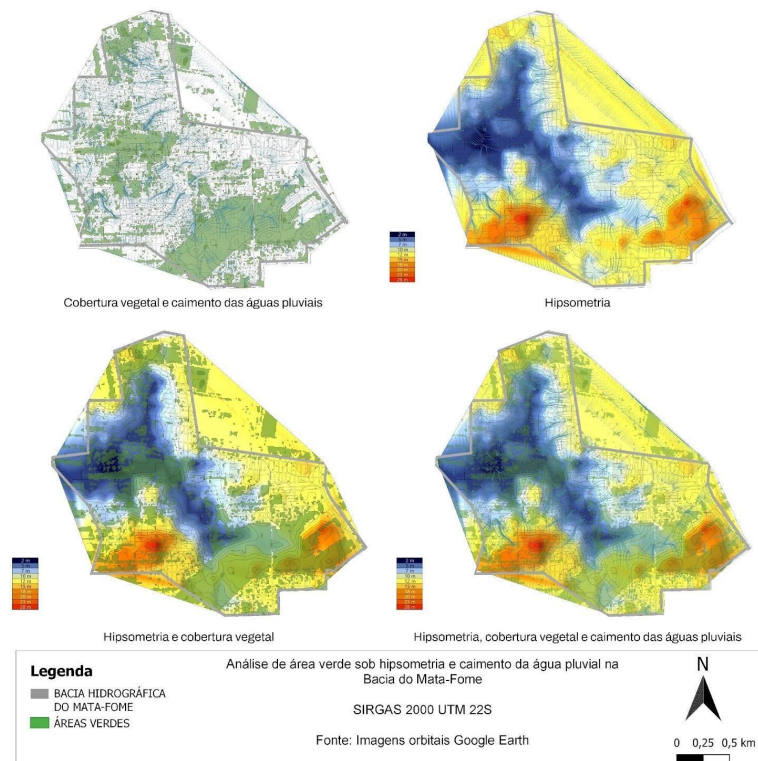


Figura 11: Análise de área verde e caimento das águas pluviais sob hipsometria na Bacia do Mata-Fome (Fonte: Modelagem de caimento das águas no Rhinoceros por XXXX, 2022 e elaborado por XXXX).

Atualmente, o fluxo do escoamento das águas pluviais na bacia, realizado por microdrenagem, sai das áreas de cota altimétrica mais altas em direção às cotas mais baixas (Figura 11), um movimento que é natural, mas prejudicado pela insuficiência de áreas vegetadas e permeáveis nas áreas de cotas mais baixas, o que potencializa os efeitos negativos de eventos climáticos e propicia situações de risco para os moradores. Em consequência da falta de investimentos em infraestrutura, solo, rios e o igarapé Mata-Fome encontram-se poluídos por conta do lançamento de lixo e esgoto domésticos, da existência de poços artesianos sem proteção sanitária, além da falta de coleta de lixo, que polui os rios, obstrui o fluxo das águas pluviais e amplia as áreas de inundação naturais (CARMONA et al, 2010). Como consequência,

70% dos atendimentos nos postos de saúde têm diagnósticos de doenças associadas à falta de saneamento básico e ingestão de água contaminada imprópria para o consumo humano (Ibid.).

4.3. Cálculo da Vazão Pluvial

A análise pluvial da bacia de estudo foi processada no algoritmo por meio da simulação geométrica do comportamento hídrico no terreno em questão (através das suas curvas de nível), a partir da qual se obtém uma representação gráfica do caimento pluvial. Ela tem o intuito de delimitar uma área de impacto pluvial para os riachos, ou seja, toda a região que contribui para a ocorrência de alagamentos, a qual podem estar fora ou dentro dos limites oficialmente estipulados (Figura 12).

Foi possível observar uma área de impacto pluvial de $4,91 \times 106\text{m}^2$ para a Bacia do Mata-Fome, esta área é gerada manualmente a partir da observação do caimento pluvial, este representado automaticamente pelo algoritmo a partir de uma simulação geométrica. Posteriormente, são delimitados os recortes onde a água tende a se acumular, na figura 12 tais áreas estão representadas em vermelho, tal resultado também é colhido automaticamente por meio do algoritmo. Concluindo, aqui foi possível observar a problemática da água proveniente da maré na região, pois a mesma tende a fluir para o centro da área de impacto, podendo gerar alagamentos.

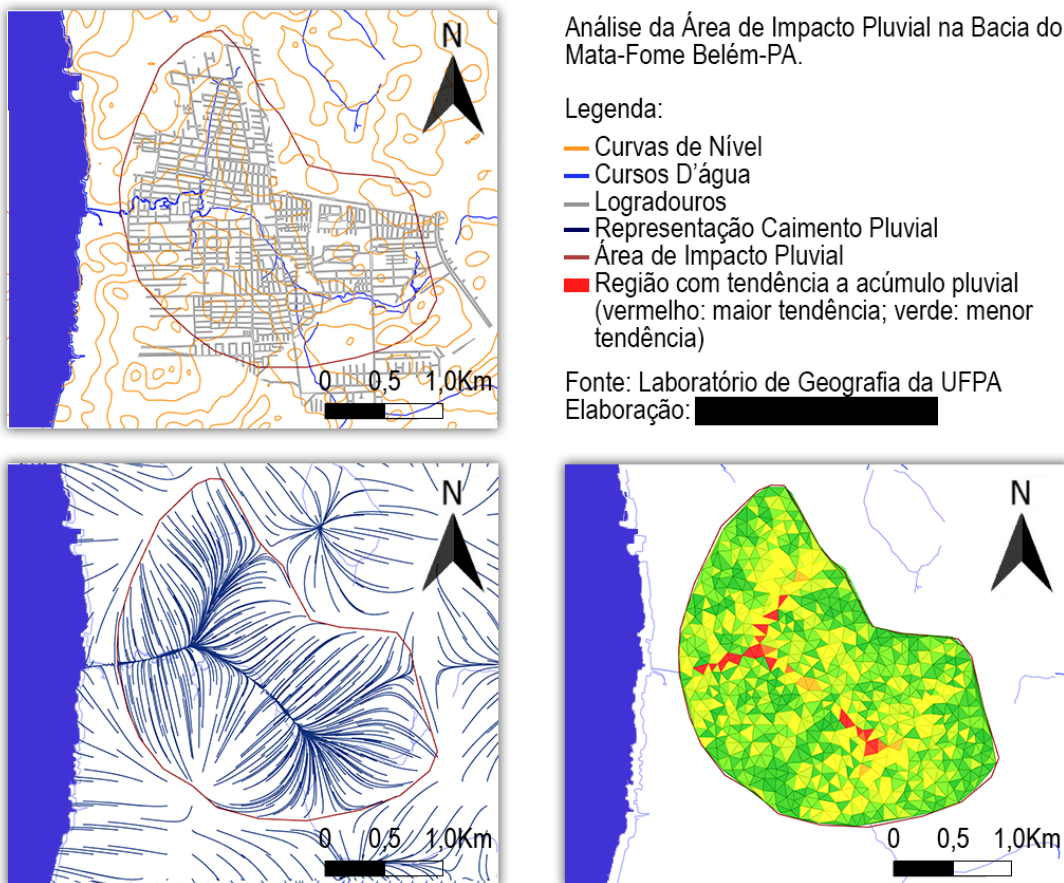


Figura 12: Análise da Área de Impacto Pluvial na Bacia do Mata-Fome (fonte: Laboratório de Geografia da UFPA e modelagem de caimento pluvial no Rhinoceros® pela autora; elaborado por XXXX).

Após a delimitação da área de acúmulo pluvial, uma segunda sequência de simulações é realizada, de forma a se analisar mais detalhadamente a área de impacto. Primeiramente, a análise do caimento hídrico é refeita; desta vez, mais detalhada, de forma que os resultados sejam mais precisos e que se possa extrair diferentes informações numéricas e figurativas para

auxílio na posterior tomada de decisão (Figura 13). A partir dessa análise, é possível gerar imagens gráficas que ilustram a distância percorrida até o corpo hídrico, assim como é possível obter tais valores de distância dentro do algoritmo. No caso do Estudo 02, na Figura 13, a máxima distância percorrida chega a 1.480m, na região da ilustração onde a cor laranja é mais intensa.

Outra informação considerada pertinente foi a tendência de acúmulo da água no caminho que percorre do seu ponto de queda até os igarapés. No Estudo 03 (Figura 13), os triângulos com uma tonalidade de azul mais escuro indicam onde a água tende a se acumular; e este dado visual é útil para se entender melhor qual seria a localização ideal para a instalação de equipamentos de infraestrutura.

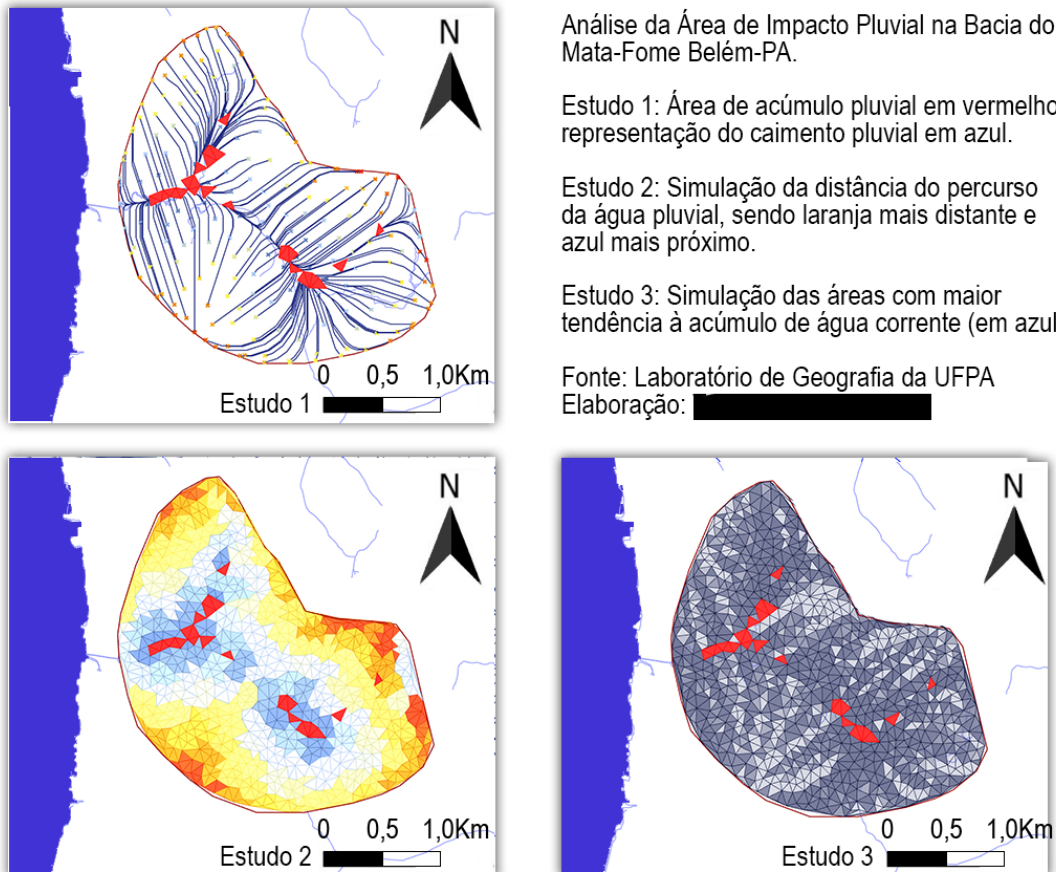


Figura 13: Análise da Área de Impacto Pluvial na Bacia do Mata-Fome (Fonte: Laboratório de Geografia da UFPA e modelagem de caimento pluvial no Rhinoceros® por XXXX; elaborado por XXXX).

Em seguida, uma equação empírica é usada para o cálculo do escoamento superficial na área de impacto estudada (Figura 14). A mesma tem como intuito obter um volume de demanda de reservação ou absorção desta água por parte dos equipamentos de infraestrutura verde e tem como resultado um valor em litros por hora (SILVA et al., 2013). O volume calculado que será convertido em capacidade de absorção é assim definido devido à importância da redundância, flexibilidade e robustez na hora de pensar uma infraestrutura mais resiliente e, conseqüentemente, uma cidade mais resiliente.

$$R = (A \times \alpha \times f) \div \Delta t$$

Figura 14: Equação de escoamento superficial (fonte: Silva et al., 2013).

Como foi mencionado antes, a área de impacto possui cerca de $4,91 \times 10^6 \text{m}^2$ (A). Já o coeficiente de runoff (α) é um parâmetro referente ao tipo de ocupação da região estudada e está diretamente ligado à sua taxa de impermeabilidade; neste trabalho, o coeficiente de runoff é definido como 0,7 (JINNO et al., 2009). A taxa de escoamento (f) foi definida para um período de retorno de 15 anos, ou seja, 15 anos é o intervalo médio em que se espera que ocorra uma precipitação maior ou igual a 180mm/h (no caso do Pará) (SOUZA et al., 2012). O resultado obtido é de $6,19 \cdot 10^8 \text{ L/h}$, este valor será usado como base para o cálculo de capacidade de absorção dos equipamentos de infraestrutura. Dessa forma, o cálculo foi baseado em uma situação extrema, possibilitando uma intervenção mais resiliente (JINNO et al., 2009). Por fim, o Δt se refere à extensão de tempo de precipitação; nesse caso, uma hora.

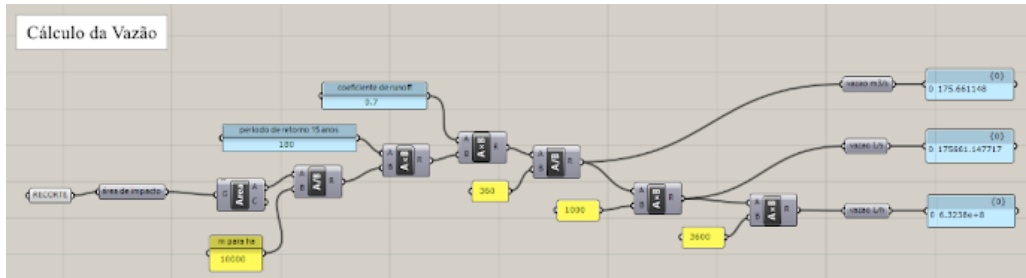


Figura 15: Equação de escoamento superficial no ambiente do programa Grasshopper. (fonte: elaborado por XXXX).

4.4. Cálculo da Vazão Pluvial

Em vista das projeções feitas pelo IPCC (2022) em relação às mudanças climáticas, a plataforma Climate Central (2022) desenvolveu mapas dinâmicos para diferentes níveis de poluição, aumento de temperatura e elevação do nível das marés de acordo com o AR6 (IPCC, 2022). Para a bacia do Mata-Fome a projeção é de que a área de cotas altimétricas mais baixas seja submersa se ocorrer o aumento de temperatura global de $1,5^\circ\text{C}$, inundando permanentemente o que hoje representa a mancha de alagamento (Figura 16).

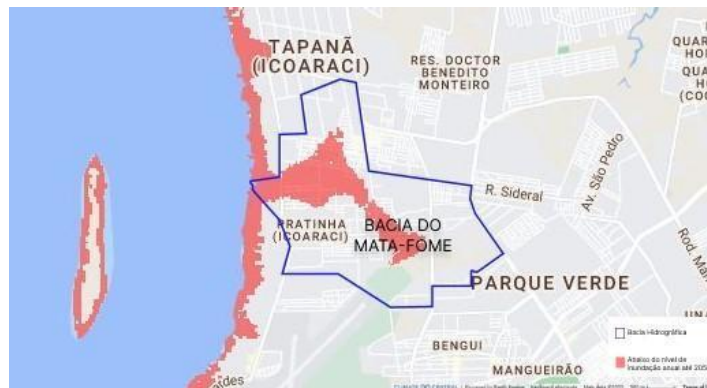


Figura 16: Simulação de Terrenos que estarão abaixo do nível de inundação anual em 2050 (fonte: Climate Central, 2022).

Segundo as previsões de tábuas de maré disponibilizadas pela Marinha do Brasil (2022) para 2023 em Belém do Pará estão previstas ao longo do ano máximas de altitude da maré de até 3,6m. Tal cota gera um volume de água de $2,72 \times 10^6 \text{m}^3$ para dentro do espaço urbano na região do Mata-Fome, todo este volume é absorvido pelo recurso hídrico (volume obtido através de modelagem 3D do território estudado). Concluindo, não se pode pensar em alternativas de solução para os conflitos gerados pelos alagamentos periódicos da Bacia do Mata-Fome sem considerar a água proveniente do mar em períodos de maré alta.

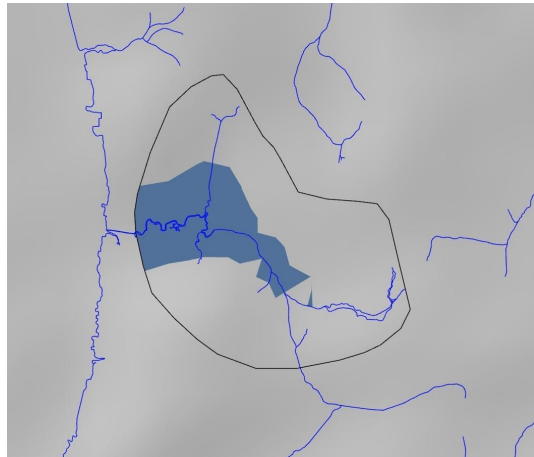


Figura 17: Simulação de nível da maré cheia na área de impacto estudada no ambiente do algoritmo. (fonte: elaborado por XXXX).

5. A Intervenção

5.1. Posicionamento de Biovaletas

Foi utilizado um algoritmo capaz de analisar o potencial de implementação de infraestrutura verde para cada via, rua ou avenida presente na área de estudo, tendo como critério a sua eficiência na capacidade de retenção de água. O algoritmo (figura 18) utilizou dados e inputs para desenvolver uma análise multicritério capaz de compreender aspectos da complexa malha urbana. Os resultados demarcam em vermelho as vias que seriam mais efetivas para receber infraestrutura verde, considerando aspectos topográficos e morfológicos da cidade, demarcada em amarelo as vias com potencial intermediário e em azul as vias com baixa eficiência de implementação de infraestrutura verde.

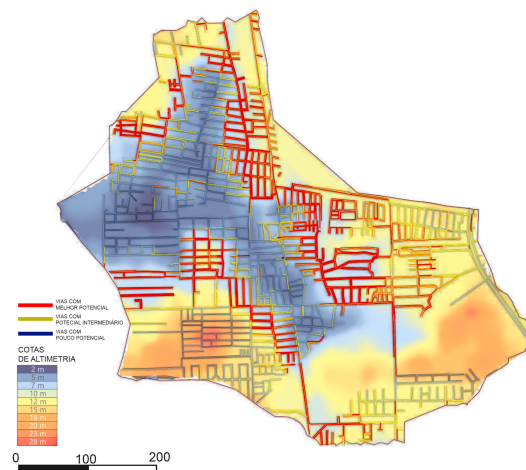


Figura 18: Análise do Potencial de Implantação de Infraestrutura Verde na Bacia do Mata-Fome (fonte: Laboratório de Geografia da UFPA e modelagem de caimento pluvial no Rhinoceros® pelo autor; elaborado por XXXX).

Diante do estudo apresentado, uma série de vias foram escolhidas para a intervenção, devido à sua distribuição ao longo da área de impacto pluvial, tornando-as ideais para a implantação de biovaletas (Figura 19). Atualmente estas vias são bastante áridas, contam com calçadas de largura mínima, em comparação com a largura das faixas de rolamento destinadas aos veículos. No ponto do sistema estudado onde o igarapé encontra o mar, há oportunidade de criação de um espaço natural alagável, uma bacia de retenção, que poderá absorver parte da

água proveniente da cheia da maré. Assim, será possível manter a característica histórica da área de várzea, valorizando-a como um recurso natural.

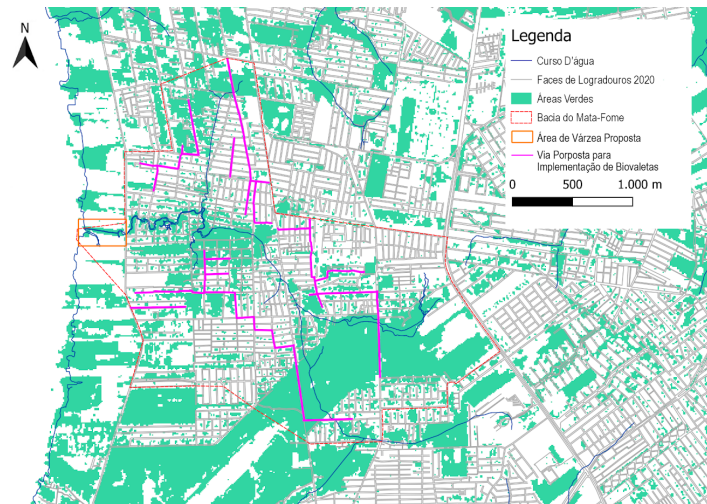


Figura 19: Indicação das vias de intervenção, marcação das biovaletas e da área de várzea proposta (Fonte: Laboratório de Geografia da UFPA; elaborado por XXXX).

5.2. Bacia de Retenção da Água da Maré

A bacia de retenção como parte da intervenção é uma forma eficiente de absorver parte da água proveniente da alta da maré na região, além de ser uma forma de delimitar oficialmente o lugar da água, como um lugar de apreciar e um lugar da natureza. Essa nova bacia é constituída por um eixo principal, o qual preserva os locais de entrada e saída da água já presentes no local. De forma paralela aos eixos de circulação principal da água, também estão presentes vales que servem para a absorção em períodos de cheia, de forma que o corpo hídrico não invada a comunidade de maneira não planejada. Na realização do design, procurou-se o retorno do corpo hídrico a um aspecto que mimetiza o pré-urbano, respeitando a topografia do território na busca de um equilíbrio entre infraestrutura verde e infraestrutura cinza.

A seguir, será ilustrado o processo de design da bacia, tal como fora realizado dentro de uma metodologia LIM (MOURA et al., 2018):

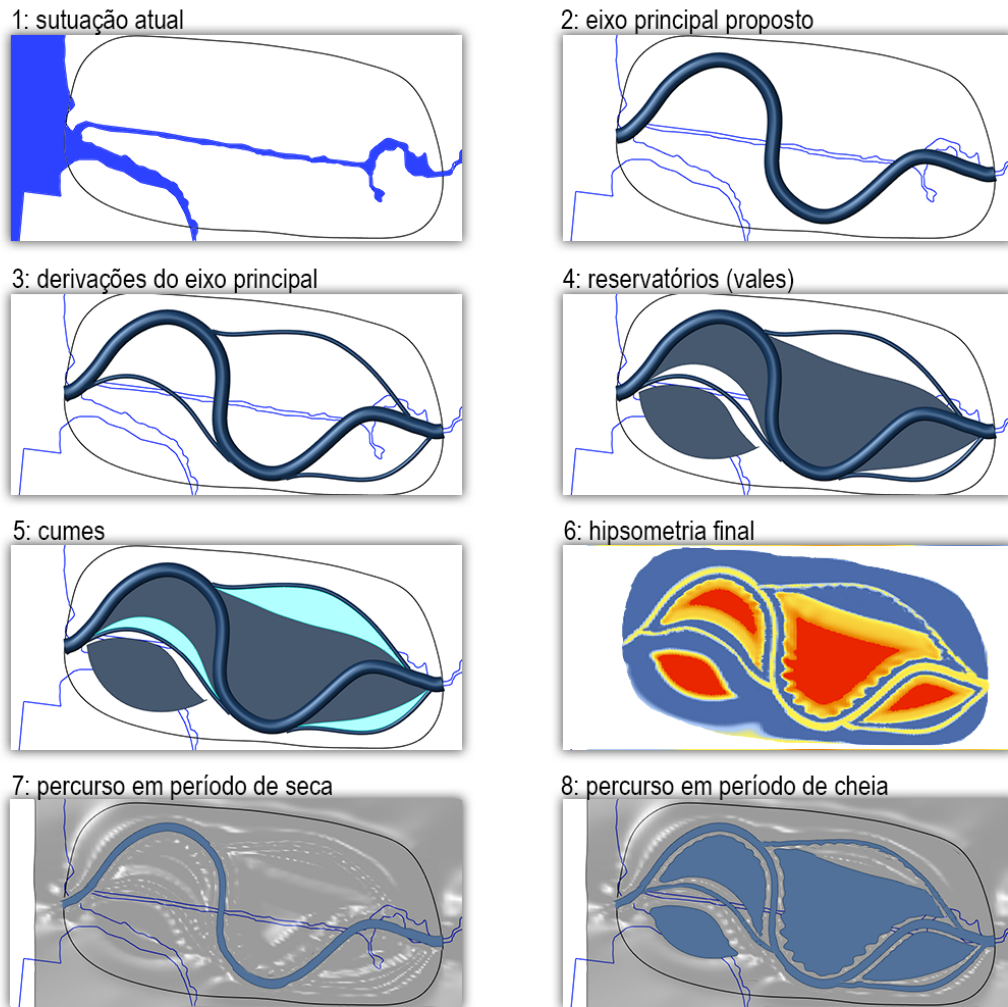


Figura 20: Passo-a-passo do design da bacia de retenção dentro do algoritmo. 1. Ilustração do corpo d'água atual; 2. Ilustração do corpo d'água principal proposto para criação de espaço para reservatórios; 3. Derivações de menor escala do eixo principal (percursos d'água de menor escala); 4. Delimitação das áreas para criação de reservatórios (nos quais a água excedente ficaria retida em época de cheia); 5. Delimitação das áreas para criação de "cumes", para o auxílio da retenção da água nos "vales"; 6. Hipsometria final (vermelho como cotas mais baixas e azul como cotas mais altas); 7. novo igarapé proposto em período de seca; 8. Cenário para o igarapé em período de cheia com ocupação dos reservatórios (fonte: elaborado por XXXX).

Concluindo, a modelagem da bacia é finalizada pelo próprio algoritmo, e alguns estudos gráficos são obtidos como resultado. Dessa forma o reservatório para a Bacia do Mata-Fome foi desenhado, chegando a uma capacidade de absorção de 124.486m³ em período de cheia e servindo como igarapé comum na época de seca.



Figura 21: Imagem ilustrativa da intervenção em período de cheia (fonte: Google Earth, editado por XXXX).

Os materiais que comporiam tal intervenção são básicos, sem o uso de concreto ou impermeabilização do local, permitindo que o terreno absorva a água e seque de forma natural. Tem-se como trabalho apenas a canalização da água para os afluentes e a modelagem do terreno no local, já que os estudos fornecidos pelo algoritmo indicam que, naturalmente, o sistema irá funcionar sem maiores complicações, dado que ele respeita o comportamento natural das variáveis em atuação.

6. Considerações Finais

Este trabalho trata da continuação de um estudo que vem sendo elaborado dentro do Laboratório de Experiências Digitais (LED) da Universidade Federal do Ceará (UFC) desde o ano de 2019. Pela primeira vez foi possível pelo LED trabalhar com a ferramenta LIM fora do estado do Ceará, graças à parceria com a Universidade Federal do Pará, tendo sido utilizado um relatório produzido dentro da Universidade do Pará por uma estudante da graduação que tem como foco a Bacia do Mata-Fome.

Houve uma evolução considerável no desenvolvimento dos algoritmos elaborados a partir da escolha de um novo estudo de caso, com particularidades e questões sociais e ambientais próprias. Foi possível, a partir disto, constatar a usabilidade dos artefatos dentro de recortes diferentes do Brasil, neste caso a diferença mais relevante foi a problemática do avanço da maré, a qual não havia sido tratada em estudos anteriores.

Entende-se que ainda cabe um aprofundamento maior neste caso específico no que tange o cálculo da capacidade de retenção das biovaletas nas ruas indicadas para intervenção e como esta intervenção afetaria as dinâmicas sociais do espaço estudado. Tal trabalho implicaria a participação de uma gama maior de atores de diferentes especialidades bem como da atuação dos próprios moradores e frequentadores do espaço em que se propõe a intervenção.

Com relação aos artefatos, os mesmos ainda estão abertos a aprofundamentos e evolução, mas acredita-se que a Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem é uma ferramenta promissora na busca de uma forma mais inteligente de se pensar e projetar a paisagem. Tal ferramenta possibilita um entendimento multiescalar e adaptável da paisagem urbana brasileira, características essenciais para se pensar a vida em cidades no futuro.

7. Referências

- ALVES, A., GERSONIUS, B., KAPELAN, Z., VOJINOVIC, Z., & SANCHEZ, A. Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk management. **Journal of Environmental Management**, 239, 244–254, 2019.
- ARUP. **A Bold Ambition: Meeting the Complex Challenges our Clients Face: annual report 2015**. London; 2015.
- BADIU, D. L., NITA, A., IOJA, C. I., & NITA, M. R. Disentangling the connections: A network analysis of approaches to urban green infrastructure. **Urban Forestry & Urban Greening**, 41, 211–220, 2019.
- BARREIRA et al. **Plano Integrado de Regularização Fundiária da ZEIS do Poço da Draga: Caderno de Diagnóstico Socioeconômico, Físico-Ambienta, Urbanístico e Fundiário**. Fortaleza; 2019.
- BARREIRA et al. **Plano Integrado de Regularização Fundiária da ZEIS do Bom Jardim: Caderno de Diagnóstico Socioeconômico, Físico-Ambienta, Urbanístico e Fundiário**. Fortaleza; 2019.
- BENEDICT, M. A., MCMAHON, E. T., & A., T. C. **Green Infrastructure Linking Landscapes and Communities**. Washington: Island Press, 2012.
- CAMERON, R. W., BLANUSA, T., TAYLOR, J. E., SALISBURY, A., HALSTEAD, A. J., HENRICOT, B., & THOMPSON, K. The domestic garden – Its contribution to urban green infrastructure. **Urban Forestry & Urban Greening**, 11(2), 129–137, 2012. doi: 10.1016/j.ufug.2012.01.002
- CANTRELL, B. & Martin, L. Designing Autonomy: Opportunities for New Wildness in the Anthropocene. **Trends in Ecology & Evolution**, 32 (3), 156-166, 2017.
- CARDOSO, A.C.; et al. Forma urbana de Belém e seus desdobramentos para a formação de um sistema de espaços livres acessível à população. **Paisagem e Ambiente**, v. 37, pp. 11-34, 2016.
- CARMONA, K. M; et al. Ocupação urbana da bacia do mata fome, belém-pa e sua relação com a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. **Águas Subterrâneas**, [S. l.],2010. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23124>. Acesso em: 11 ago. 2022.
- CARVALHO, T. F. & MOURA, N. C. B.. No Retreat from Change Landscape Information Modelling as a Design Tool for a Resilient Community: the Case of Poço da Draga in Fortaleza, Brazil. In: **Planning Post Carbon Cities: 35th PLEA Conference on Passive and Low Energy Architecture**, 2020, Corunha. Anais eletrônicos. Corunha, 2020. p. 830-834.
- CLIMATE CENTRAL. climate central org, 2022. Coastal risk screening tool. Disponível em:<https://coastal.climatecentral.org/map/13/48.4471/-1.4341/?theme=sea_level_rise&map_type=year&basemap=roadmap&contiguous=true&elevation_model=best_available&forecast_year=2050&pathway=rcp45&percentile=p50&refresh=true&return_level=return_level_1&rl_model=gtsr&slr_model=k_opp_2014>. Acesso em: 11 de ago. de 2022.
- COLUCCI, A. The potential of periurban areas for the resilience of metropolitan region. Tema. **Journal of Land Use, Mobility and Environment**, 8 (Special Issue ECCA 2015), 103-122, 2015.
- CRUZ, Camila. **Uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas da região metropolitana de Belém: uma análise urbanístico ambiental**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Pará. Belém, 2018.
- FREITAS, C. & LIMA, M. Modelagem Paramétrica e os Limites dos Mecanismos Tradicionais de Regulação da Forma Urbana. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, 4, 117-138, 2016.
- GALDERISI, Papa, R., et al. Smart and resilient cities. A systemic approach for developing cross-sectoral strategies in the face of climate change. **Tema. Journal of Land Use, Mobility and Environment**, 8 (1), 19-49, 2015. doi:<http://dx.doi.org/10.6092/1970-9870/2883>

HARVEY, David. **Cidades Rebeldes: do direito à cidade à revolução urbana**. São Paulo: Martins Fontes, 2014.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, 2013.

JINNO, K., TSUTSUMI, A., ALKAEED, O., SAITA S. & BERNDTSSONR.,. Effects of land-use change on groundwater recharge model parameters. **Hydrological Sciences Journal**, 54:2, 300-315, 2009.

LACERDA, D. P. et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & produção**, v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013.

LANGE, E. 99 volumes later: We can visualise. Now what? **Landscape and Urban Planning**. 100(4), 403–406, 2011.

LIAO, Kuei-Hsien. A theory on urban resilience to floods - a basis for alternative planning practices. **Ecology and society**, v. 17, n. 4, 2012.

LIMA, M. Q. C. Ver a Cidade. **Modelagem da Informação para Regulação de Assentamentos Informais**. Fortaleza, CE Universidade Federal do Ceará, 2017.

MARINHA DO BRASIL. **Tábua de Marés 2023 PORTO DE BELÉM (ESTADO DO PARÁ)**. [S. l.], 2022. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/dados_de_mare/07-porto_de_belem_tabua_2023.pdf. Acesso em: 12 dez. 2022.

MIRANDA, Thales. **A Ilusão da Igualdade: natureza, justiça ambiental e racismo em Belém**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Pará. Belém, 2020.

MORAES, C. B. et al., Crescimento urbano e suas implicações para o tempo e clima da região metropolitana de Belém do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 04, p. 2045-2060, 2022.

MOURA, N. B. & PELLEGRINO, P. & MARTINS, J. R. & RAVIOLO B. & MOREIRA, E. Intelligent landscapes: Application of parametric modeling for a new generation of flood risk management reservoirs in São Paulo city, Brazil. **DISEGNARECON**. 11. 11.1-11.15. 2018.

MOURA, Newton Celio Becker de. **Biorretenção: tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva**. 2014. Tese (Doutorado em Paisagem e Ambiente) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. doi:10.11606/T.16.2014.tde-30052014-104153.

NEU, Vânia. Rios urbanos como patrimônio. **Laboratório da Cidade**, Belém, 24 de fev. de 2022. Blog. Disponível em: <<https://laboratoriodacidade.org/2022/02/24/rios-urbanos-como-patrimonio/>>. Acesso em: 10 de julho de 2022.

NITA, M. R., PATROESCU, M., BADIU, D. L., GAYRILIDIS, A. A., & AVRAM, M. E. Indicators for evaluating the role of green infrastructures in sustainable urban development in Romania. **Forum Geografic**, XVII(1), 75–81, 2018.

NOVOTNY, Vladimir; AHERN, Jack & BROWN, Paul. **Water Centric Sustainable Communities: planning, retrofitting, and building the next urban environment**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2010.

PBMC, 2016: Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6

- PBMC, 2020: Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 ISBN: 978-85-285-0207-7
- PEFFERS, K. et al. A design science research methodology for information systems research. **Journal of management information systems** : JMIS, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007.
- PEREIRA, J. A. Rodrigues (org.) **Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário da Região Metropolitana de Belém**. Belém: Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), 2008. CD-ROM. 7 v. [Relatórios de pesquisa.] CD-ROM.
- ROLF, W. & HANSEN, R. & RALL, E. & CHAPMAN, E. & PAULIET, S. **Urban Green Infrastructure Planning: A Guide for Practitioners**. 2017
- SHELLER, R. Landscape Modeling. **Reference Module in Life Sciences**, 2017.
- SHAFIQUE, M., & KIM, R. (2015). Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions. **Ecological Chemistry and Engineering S**, 22(4), 543-563, 2015.
- SILVA, F. O. E., PALÁCIO, F. F. R., CAMPOS, J N. B. Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC. **Revista DAE**, v. 192, 2013.
- SILVA, J. A.; RODRIGUES, J. E. Análise da cobertura vegetal na bacia hidrográfica "Mata-Fome", Belém/PA. Belém: **Rev. do Inst. Hist. e Geog. do Pará (IHGP)**, v. 06, n. 02, p. 73-91, 2019.
- SILVA, M. J.; LUZ, L. M.. Uso do solo e degradação ambiental: Estudo de caso da bacia do Mata Fome em Belém, Pará. Grajaú: **Revista InterEspaço**, v. 2, n. 7, p. 162-178, 2016.
- SOUSA, C. E. M. **Modelando a percepção: o ambiente do patrimônio cultural edificado na regulação da forma urbana**. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo e Design) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- SOUZA, Rodrigo O. R. de M. et al. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEE/UEG, v. 16, n. 9, p. 999-1005, 15 jun. 2012.
- SOUZA, A. L. Resiliência Urbana e uma Belém Sustentável. **Laboratório da Cidade**, Belém, 13 de maio de 2022. Blog. Disponível em: <<https://laboratoriodacidade.org/2022/05/13/resiliencia-urbana-e-uma-belem-sustentave/>>. Acesso em: 14 de maio de 2022.
- THE ROCKEFELLER FOUNDATION. **City Resilience Framework**. London; 2014.
- VILLAÇA, Flávio. **Espaço intra-urbano no Brasil**. Studio nobel, 1998.