



A tecnologia da informação como suporte para a implantação de Soluções Baseadas na Natureza (SBN)

Thaís Matos Moreno^a, Maria Eduarda Pinto Cândido^b, Emerson Nogueira dos Santo^c, Indira Gurgel Jucá de Araújo^d, Marcus Vinícius Teixeira de Oliveira^e

^a Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura e Urbanismo - Departamento de Projetos, Belo Horizonte, MG, Brasil.
E-mail: thaismoreno65@gmail.com

^b Universidade Federal do Ceará, Departamento de Arquitetura e Urbanismo e Design, Fortaleza, CE, Brasil.
E-mail: eduardapintocandido@gmail.com

^c Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, Departamento de tecnologia, Teresina, PI, Brasil.
E-mail: catce.nogueira@gmail.com

^d Universidade de Fortaleza, Centro de Ciências Tecnológicas, Fortaleza, CE, Brasil.
E-mail: Indira.gurgel@certare.com.br

^e Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza, CE, Brasil
E-mail: Marcus.vinicius@certare.com.br

Submetido em 15 de outubro de 2024. Aceito em 26 de dezembro de 2024.
<https://doi.org/10.47235/rmu.v12i2.425>

Resumo. O artigo analisa a aplicação da tecnologia da informação para a seleção estratégica de Soluções Baseadas na Natureza (SBN) no município de Independência, no semiárido cearense. A morfologia urbana é vista como um elemento central para integrar processos naturais ao planejamento urbano, especialmente em contextos de vulnerabilidade climática. O estudo destaca que a urbanização tradicional, marcada por infraestrutura rígida e impermeabilização, afasta as cidades de uma convivência harmônica com o ambiente, contribuindo para inundações e desertificação. A pesquisa propõe uma metodologia que usa tecnologia da informação para identificar zonas específicas para a aplicação de SBNs, considerando a configuração morfológica da cidade e os desafios de gestão hídrica. A análise inclui a avaliação de três áreas com características distintas. A proposta é promover uma urbanização mais integrada com a paisagem natural, utilizando técnicas como sistemas biofiltrantes e barragens de baixo impacto para retenção de água e recuperação de áreas degradadas. O estudo sugere que a reconfiguração morfológica, aliada a práticas de SBNs, pode ampliar a resiliência urbana, e reforça que, mesmo não sendo objeto direto deste trabalho, as SBNs só obtêm sucesso em sua implantação quando há participação popular e o respeito aos saberes tradicionais.

Palavras-chave. Soluções Baseadas na Natureza (SBN), semiárido, tecnologia da informação, mudanças climáticas, morfologia urbana

Introdução

As Soluções Baseadas na Natureza vem sendo um tema bastante comentado em discussões atuais. Isso se dá à urgente necessidade de uma transformação de paradigmas no

planejamento e na construção de cidades, especialmente diante do agravamento das mudanças climáticas. A necessidade de abordar esse tema surgiu de uma constatação prática: a de que as cidades do semiárido nordestino ao mesmo tempo que vivenciam

esse cenário, possuem menos visibilidade e, em especial as de pequeno porte, enfrentam desafios significativos na obtenção de dados georreferenciados para o planejamento urbano. Foi a partir dessa inquietação que desenvolvemos uma metodologia baseada na tecnologia da informação que, se aprimorada, pode auxiliar na localização de áreas propícias à implementação de estratégias de Soluções Baseadas na Natureza (SBN) no contexto urbano dessas cidades, visando criar formas de combater o acirramento das mudanças climáticas sem depender exclusivamente de dados fornecidos por órgãos municipais, estaduais, federais ou até mesmo da iniciativa privada.

Já de início, achamos conveniente destacar três pressupostos importantes deste artigo. O primeiro é o de que não entendemos a tecnologia como um fim em si mesma, nem adotamos uma abordagem que a fetichize, tornando-a uma espécie de solução mágica para todos os problemas. Nós a entendemos como um meio e compreendemos que sua utilização está constantemente permeada por questões sociais, econômicas e culturais. Aqui, o nosso objetivo é também compreender e reforçar, dentro das limitações deste trabalho, a importância de estender as instâncias de decisão e ação a todas as pessoas que habitam essas regiões (Santos; Kapp, 2024).

O segundo pressuposto é que, embora o método desenvolvido tenha etapas comuns que podem ser replicadas em várias cidades, o mais importante é, primeiramente, compreender as questões e problemáticas sócio-espaciais específicas de cada cidade, seus conflitos e contradições, especialmente no que se refere à morfologia urbana, antes de aplicar qualquer metodologia. A ferramenta desenvolvida é apenas um ponto de partida (ainda em construção), um método inicial que deve ser replicado, aprimorado e eventualmente ajustado para atender às particularidades de diferentes contextos.

O terceiro pressuposto deste artigo diz respeito a uma problematização crítica em relação ao termo Soluções Baseadas na Natureza. O ponto é que a discussão acerca desse tema está muitas vezes apoiada em documentos elaborados por organismos multilaterais, tais como Banco Mundial e

Organização das Nações Unidas (ONU), oriundos do norte global. Esses documentos tratam da temática como se tivessem encontrado a solução para os problemas ambientais, sociais e econômicos do mundo, mas, na maioria das vezes, desconsideram as realidades latino-americanas e as diversidade de conflitos sócio-ambientais que enfrentam. No entanto, é possível observar que muitas comunidades em diferentes contextos brasileiros já implementam práticas sustentáveis, ligadas a técnicas tradicionais de plantio e à gestão de recursos hídricos, baseadas em conhecimentos transmitidos ao longo de gerações. Não se trata aqui de romantizá-las e ignorar os entraves e limitações existentes, muito pelo contrário, embora este estudo não investigue diretamente essas práticas, reconhecemos a sua legitimidade, a extrema validade e o potencial desses saberes, sem se posicionar acima deles.

Este artigo está estruturado em quatro partes principais, fora esta introdução. Na primeira, discutimos o conceito de Soluções Baseadas na Natureza (SBN) e sua relação com a morfologia urbana. Na segunda parte, caracterizamos o município de Independência, localizado no semiárido cearense, onde a metodologia proposta será aplicada. A terceira seção descreve detalhadamente o processo de aplicação do método, identificando possíveis Soluções Baseadas na Natureza (SBN) a serem implantadas. Finalmente, é apresentada uma análise crítica da aplicação metodológica, ressaltando seus pontos fortes, possíveis limitações. Por fim, as considerações finais encerram o artigo.

Soluções Baseadas na Natureza e morfologia urbana

As Soluções Baseadas na Natureza (SBN) são abordagens que aproveitam processos naturais para enfrentar uma variedade de desafios sociais e ambientais. Esse termo guarda-chuva inclui outros termos como Infraestruturas Verdes, Técnicas Compensatórias, Desenvolvimento de Baixo Impacto e Melhores Práticas de Manejo, todas fundamentadas em conceitos de engenharia ecológica e gestão ambiental. As SBNs são aplicáveis a setores diversos, como a gestão de recursos hídricos, produção de alimentos e conservação da biodiversidade, podendo ser

usadas isoladamente ou em combinação com soluções tradicionais de engenharia. Quando planejadas e implementadas de forma adequada, essas soluções oferecem o potencial de mitigar os efeitos das mudanças climáticas, ampliar a biodiversidade e melhorar a qualidade ambiental. No contexto urbano, as SBNs podem ainda apoiar o saneamento ambiental e promover o bem-estar comunitário, especialmente em áreas que enfrentam desafios sazonais e riscos de desastres naturais (UN-Water, 2018).

Mas qual a relação entre as SBNs e a morfologia urbana das cidades? Essa relação está diretamente ligada ao afastamento das cidades, estruturadas sob ideários desenvolvimentistas e modernistas, do meio ambiente e, particularmente, dos fluxos naturais da água. A morfologia dessas cidades, fundamentada na infraestrutura urbana tradicional, nos alienou de uma convivência mais harmoniosa com o ambiente natural. Nesse contexto, as SBNs surgem como uma alternativa – ainda pouco explorada, mas promissora – para pelo menos demonstrar que é possível uma urbanização mais integrada aos processos naturais. É sobre isso que discutiremos neste tópico. No entanto, é importante destacar que, embora as Soluções Baseadas na Natureza ofereçam caminhos relevantes, são necessárias mudanças ainda mais radicais, que envolvam novos modos de pensar e habitar as cidades. Essa reflexão, porém, será aprofundada em outro trabalho.

Diante do agravamento das mudanças climáticas, torna-se essencial investigar a reestruturação do espaço urbano, onde a forma da cidade surge como um elemento central. A morfologia urbana, como define Moudon (1997), é o campo do conhecimento que analisa as manifestações físicas da interação entre elementos naturais e construções moldadas por processos sociais e culturais ao longo do tempo. Milton Santos (2014) reforça essa perspectiva ao considerar as cidades como verdadeiros acúmulos de artefatos integrados ao ambiente natural. É no contexto urbano que se concentram os esforços da pesquisa em morfologia urbana (Moudon, 1997).

Os principais elementos de análise morfológica são os edifícios, ruas e parques (Moudon, 1997). Cada objeto que compõe a

forma urbana é criado com uma vocação determinada por quem os cria. No entanto, essa vocação não necessariamente define a forma de utilização do objeto depois da sua criação, já que diversos outros fatores que fogem do escopo do criador influenciam no seu uso real. Ainda assim, ela tem potencial de influenciar a dinâmica do espaço (Santos, 2021).

“A infraestrutura tradicional impactou significativamente no padrão de desenvolvimento urbano a longo prazo e nas condições dos espaços abertos remanescentes. Usos urbanos tendem a se espalhar ao longo das linhas de infraestrutura disponíveis. Esse processo é mais poderoso do que o processo que cria espaços abertos com boa qualidade ecológica. Os padrões das redes de infraestrutura afetam o padrão das ocupações urbanas” (Pellegrino e Moura, 2017, p.468).

Nas cidades capitalistas, moldadas sob um ideal de utilitarismo e desenvolvimento, os elementos de infraestrutura urbana, como canalizações e galerias de drenagem, têm o propósito de direcionar as águas pluviais para rios e mares, facilitando a drenagem das áreas urbanas. No entanto, esses sistemas acabam por ocultar as dinâmicas biofísicas do território, retificando rios e riachos, padronizando soluções e adaptando a topografia de forma rígida ao projeto. Esse processo influencia a percepção do espaço e dos elementos naturais, afastando a cidade e seus habitantes dos fluxos naturais, que muitas vezes só se tornam visíveis em situações de alagamentos, inundações e desastres ambientais (Gobatti, 2021).

Observando essa forma tradicional de construção de cidades, não é difícil perceber que as linhas retas desses objetos se encaixam nas malhas ortogonais das cidades, ocupando várzeas e linhas de drenagem, direcionando as águas para outros lugares, com estratégias impermeabilizadas que não permitem a retenção das águas onde há precipitação. Esse cenário – infelizmente já tão consolidado no nosso imaginário – atua aumentando a suscetibilidade dos tecidos urbanos a eventos extremos tanto de inundações quanto de seca (Moura, 2014).

Nesse contexto, é fundamental projetar objetos urbanos que favoreçam a integração

com elementos naturais, explorando formas urbanas mais biofilicas e acolhedoras para essas estratégias. As Soluções Baseadas na Natureza (SBNs) revelam-se especialmente promissoras nesse aspecto.

“As Soluções baseadas na natureza, como contraponto, podem se tornar estruturas pedagógicas para o aprendizado de processos naturais. Gerenciar localmente o escoamento de águas pluviais por meio do uso de jardins de chuva representa uma mudança: de tentar se livrar rapidamente da água despejando-a em corpos d'água e rios para tentar infiltrar a água localmente é uma maneira de completar o ciclo hidrológico à vista de todos. Isso aproxima as pessoas dos processos da natureza e facilita a compreensão de sua dialética” (Gobatti, 2021).

Como os grandes centros urbanos já são altamente adensados e urbanizados, implementar mudanças estruturais profundas nesses espaços é um grande desafio. Considerando que este artigo também se propõe a examinar as cidades do semiárido cearense, percebemos que centros urbanos menores e menos densos oferecem maior receptividade para novas formas de disposição dos elementos na paisagem. Nesses contextos, onde há áreas urbanas em expansão e ainda pouco consolidadas, é possível incentivar um desenvolvimento mais integrado às dinâmicas naturais e às demandas sociais específicas do território.

Embora o foco da morfologia urbana seja o estudo dos artefatos urbanos, sua distribuição e a forma como influenciam as relações espaciais, este artigo propõe investigar um método de leitura da paisagem que apoie a proposição de artefatos, com ênfase nos aspectos geológicos e biológicos que afetam o ambiente urbano de Independência, no Ceará. Compreender essas dinâmicas naturais e seu impacto no espaço urbano é essencial para avançar no desenvolvimento de estratégias e formas urbanas mais integradas ao meio ambiente. Além dos espaços urbanizados, analisamos também as áreas lindeiras ainda não ocupadas, considerando sua influência no desenvolvimento da morfologia urbana local.

Leitura do município

Como mencionado anteriormente, a metodologia proposta de utilizar a tecnologia da informação no auxílio de decisões para implantação de estratégias de Soluções Baseadas na Natureza (SBN) poderia ser aplicada em diversos municípios. Optamos por focar no semiárido cearense devido à necessidade do fortalecimento desse tipo de discussão nessas regiões, sobretudo nesse atual momento histórico de acirramento das mudanças climáticas (FEPEAL, 2024).

O ponto de partida para a escolha do município de estudo foi a análise do mapa das áreas mais vulneráveis à desertificação. A desertificação é um problema ambiental sério e tem grande impacto social e econômico, especialmente em regiões semiáridas, como o semiárido cearense. Esse processo leva à degradação do solo, reduz a capacidade produtiva da terra e ameaça a biodiversidade, afetando diretamente as populações que dependem de atividades agrícolas e de recursos naturais para seu sustento. Na Figura 1, podemos observar que o município de Independência está situado em uma área onde uma parte significativa do território encontra-se em zonas suscetíveis à desertificação. Esse fator torna ainda mais relevante a investigação de estratégias que possam integrar dinâmicas naturais e contribuir para a sustentabilidade da região, auxiliando no combate à desertificação.

O município de Independência possui uma área de 3.218,6 km². Segundo dados do IBGE, em 2020, ele contava com 25.573 habitantes, dos quais 11.473 viviam na zona urbana e 14.100 na zona rural, indicando uma população majoritariamente rural. A densidade demográfica era de 7,95 hab./km². Em 2010, apenas 30,1% das residências contavam com esgotamento sanitário adequado, o que significa que cerca de 70% dos esgotos eram despejados em fossas ou rios. A economia é baseada principalmente na agricultura de sequeiro, pecuária de corte, caprinocultura, ovinocultura, mineração de rochas ornamentais e serviços (Gomes, Zanella, Oliveira 2017). O mapa da Figura 2, apresentado a seguir, evidencia a grande parcela de solo que é destinada à agropecuária.

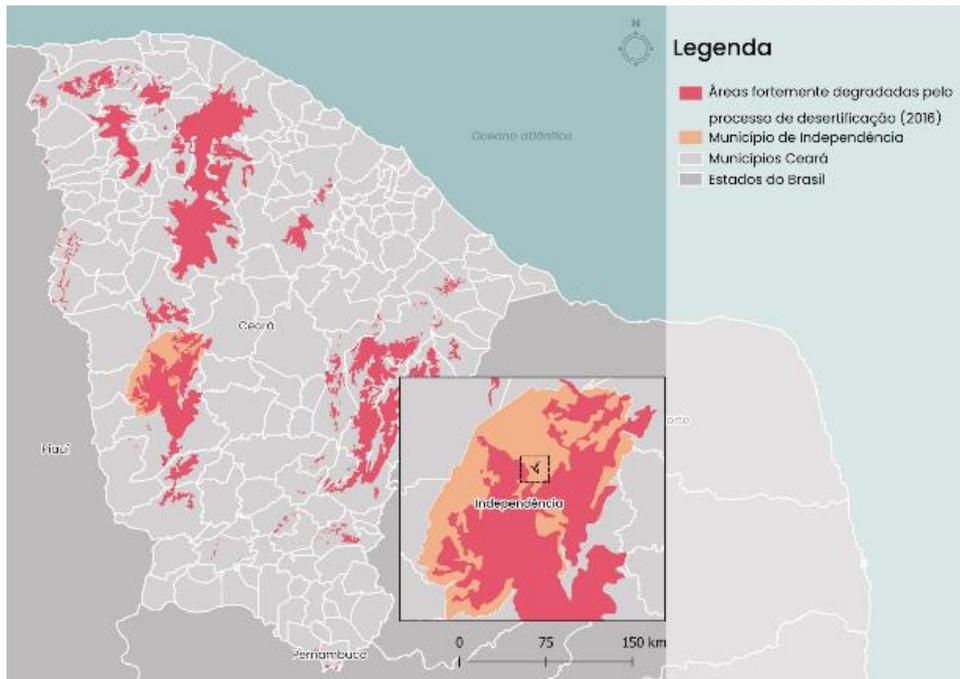


Figura 1. O município de Independência (CE) e as áreas fortemente degradadas pelo processo de desertificação (fonte: elaborado pelos autores com dados da Funceme (2016))

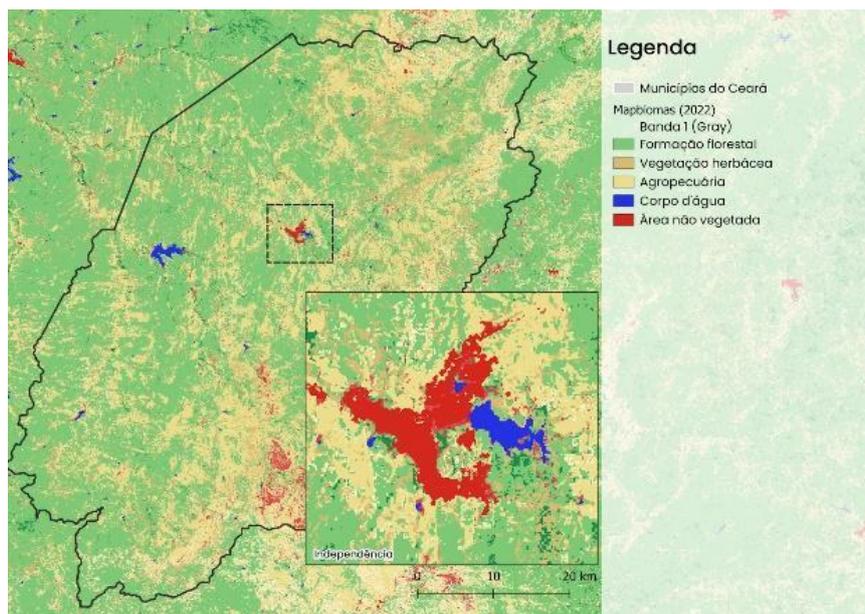


Figura 2. Uso e cobertura da terra do município de Independência (CE) (fonte: elaborado pelas autoras com dados do MapBiomas, 2024)

A geomorfologia da cidade é típica de áreas vulneráveis à desertificação, com terrenos predominantemente planos e baixos. A região apresenta formações residuais como o maciço de Pedra Branca e a serra da Joaquina. O solo do município é raso, pouco fértil e sofre com erosão e outros processos de degradação ambiental. Apesar disso, as planícies fluviais e lacustres possuem solos mais férteis e são áreas mais habitadas devido à disponibilidade de água, como acontece ao longo do rio Independência (Aderaldo e Bastos, 2017).

A geografia do município, caracterizada por relevo plano (Figura 3), rochas cristalinas e clima semiárido, influencia diretamente na qualidade dos solos. O clima semiárido, com alta evaporação e salinização, resulta em solos degradados, rochosos e difíceis de recuperar. Isso impacta a agricultura e a pecuária, que são essenciais para a sobrevivência da população local (Aderaldo e Bastos, 2017).

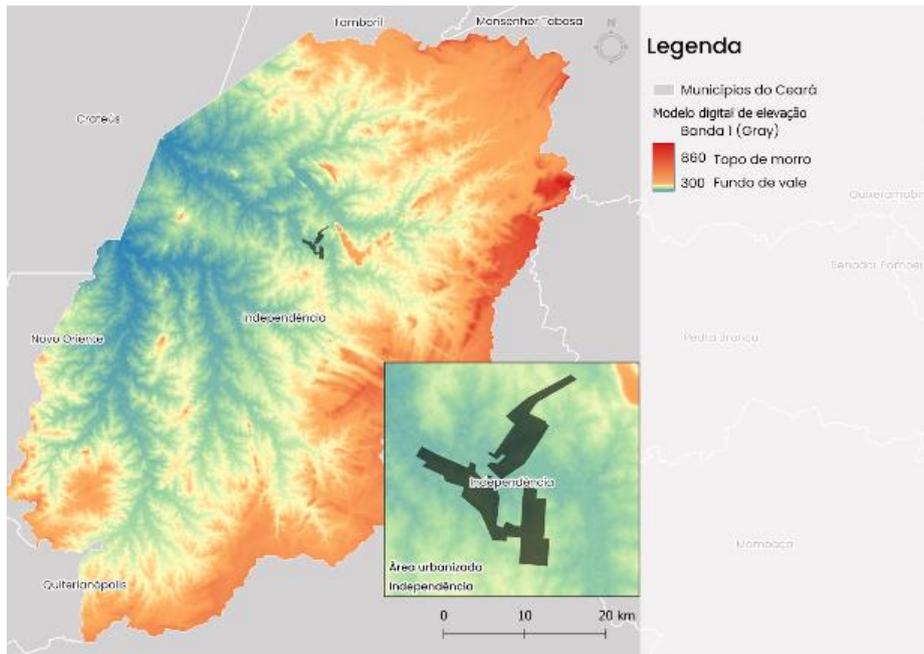


Figura 3. Modelo Digital de Elevação (MDE) do município de Independência (CE) (fonte: elaborado pelas autoras via extração de imagens de satélite, 2024)

Para uma análise coerente no que diz respeito a possíveis implantações de Soluções Baseadas na Natureza (SBN), outro ponto muito importante de se compreender sobre a cidade é a sua hidrografia. A hidrografia de Independência faz parte da Bacia do Rio Parnaíba, que é a única bacia hidrográfica do estado a desaguar em outra unidade federativa. Uma informação muito relevante sobre a cidade é a de que todos os rios do município são intermitentes, secando na estação seca, exceto três rios perenes: Independência, Curiú e Santa Cruz, que são alimentados por açudes. O regime hidrológico dos reservatórios é afetado pela irregularidade das chuvas e pelas condições geológicas da área. Nos períodos chuvosos, o escoamento é significativo, mas diminui rapidamente após o fim das chuvas devido à baixa porosidade do solo. As condições físicas e o clima semiárido, junto com atividades humanas predatórias, influenciam negativamente a dinâmica hídrica da região, tornando necessária a construção de açudes para enfrentar o déficit hídrico (ADERALDO e BASTOS, 2017).

No contexto de seca e de desertificação no semiárido brasileiro, é fundamental também discutir sobre a questão da vegetação. Para isso, extraímos o Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI) por meio de CBERS A4 para a cidade de Independência (Figura 4). O NDVI é um índice utilizado para medir a quantidade de vegetação verde em

uma área, baseado na refletância da luz visível e infravermelha próxima capturada por sensores remotos. Ele é amplamente empregado para monitorar mudanças na cobertura vegetal em estudos ambientais e agrícolas. Cabe ressaltar que existem ressalvas ao uso do NDVI em áreas semiáridas. Nessas regiões, muitas plantas são caducifólias, perdendo suas folhas em certas épocas do ano. Isso pode gerar a falsa impressão de que a vegetação está morta ou degradada, quando na verdade a perda de folhas faz parte de um ciclo natural.

O quarto passo diz respeito a uma análise que realizamos via software Handmodel, que, mediante MDE, é responsável por medir os riscos de inundação de uma região. Esses dados são então aplicados no software QGIS, para a reclassificação dos valores de cada pixel ao nível de risco correspondente. As regiões identificadas com menor risco de inundação localizam-se nas cotas médias e altas (Figura 5). O Modelo Hand Model simula e prevê como as águas se espalharão em uma área durante eventos de inundação. Utilizando o MDE como entrada, o Modelo Hand calcula diversos parâmetros hidráulicos, como fluxo de água, velocidade e altura da água, levando em consideração parâmetros como a topografia do terreno. Para a realização desses cálculos, uma série de ferramentas e algoritmos trabalham em conjunto para fornecer uma análise

abrangente e precisa dos potenciais cenários de inundação.

O Hand Model gera estimativas dos níveis de inundação para a região em análise, identificando as áreas que seriam mais propensas a serem afetadas durante eventos de inundação. No QGIS, os valores de cada pixel são reclassificados. Isso significa que as áreas são categorizadas com base na probabilidade

e na gravidade das inundações, permitindo uma identificação clara das regiões mais vulneráveis e das que apresentam menor risco, fornecendo uma interpretação e visualização dos resultados da modelagem de inundação mais eficiente. No mapa da Figura 5 é possível perceber que, apesar de estar localizado no semiárido cearense, o município apresenta altos riscos de inundação.

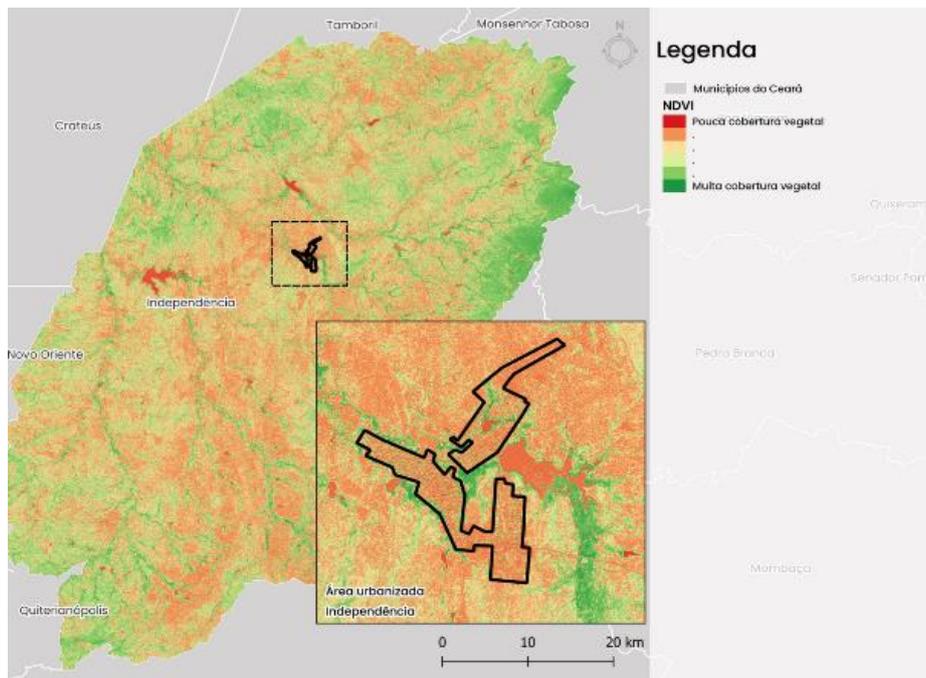


Figura 4. Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI) do município de Independência (CE) (fonte: elaborado pelas autoras via extração de imagens de satélite, 2024)

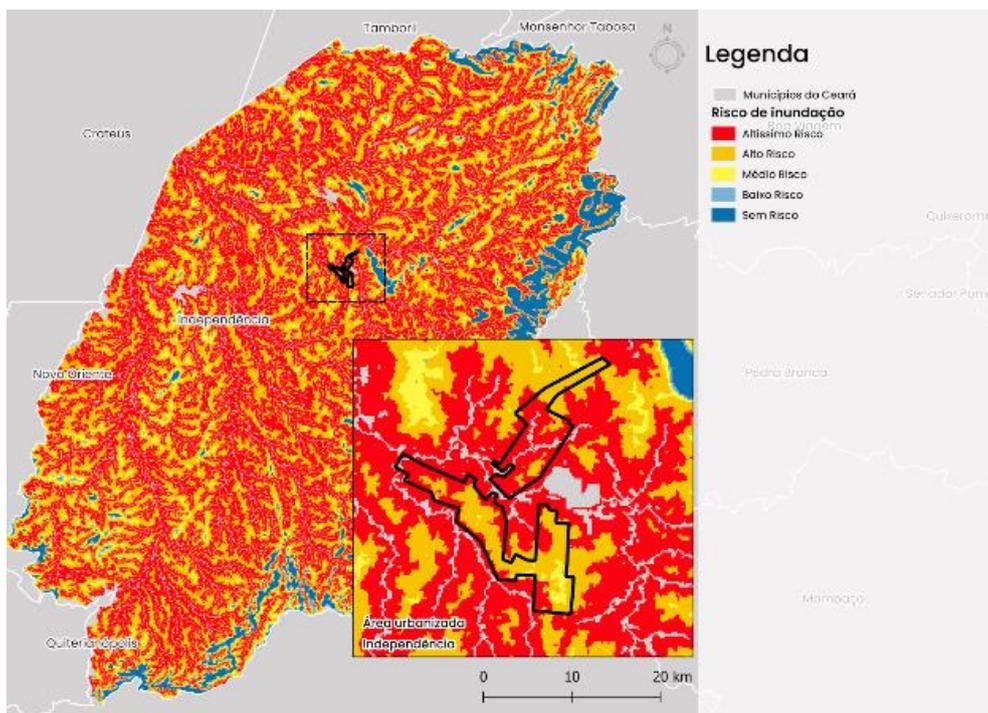


Figura 5. Modelo Hand Model (simulação de risco de inundação) do município de Independência (CE) (fonte: elaborado pelas autoras via extração de imagens de satélite, 2024)

Aplicação do método e discussão

Este capítulo está estruturado em duas partes principais. Primeiramente, será detalhado o passo a passo da aplicação da metodologia desenvolvida. Em seguida, serão apresentados os critérios adotados para as Soluções Baseadas na Natureza (SBN) propostas para as áreas de análise selecionadas.

Como já mencionado, o objetivo é desenvolver uma metodologia que não dependa exclusivamente de dados georreferenciados fornecidos pelas prefeituras municipais. A proposta é utilizar dados primários para apoiar a tomada de decisões em relação à identificação de locais estratégicos para a implementação de Soluções Baseadas na Natureza (SBN). No caso em questão, o

município de Independência, localizado no semiárido cearense, será o foco da análise.

A aplicação do método proposto pode ser dividida em quatro partes principais: coleta e produção de dados, seleção dos recortes, análise a partir dos critérios estabelecidos, aplicação do método e direcionamento de ações de enfrentamento aos eventos extremos. O primeiro passo foi a extração dos dados primários abordados no capítulo anterior: NDVI, uso e cobertura do solo, riscos de inundação, relevo, características de urbanização e desertificação, cada uma com níveis diferentes de análise, configurando um tipo de análise multicritério, como pode ser observado na Figura 6.



Figura 6. Diagrama de análise multicritério (fonte: elaborado pelas autoras)

Com base na análise desses dados, dividimos o território urbano do município de Independência em três recortes principais, estabelecendo critérios de análise para avaliá-los de acordo com o diagnóstico realizado. Porque foram três recortes? Para olhar particularidades morfológicas e geográficas de cada um (Figura 7).

Em seguida, cada recorte foi analisado com base nos níveis de cada um dos indicadores estabelecidos, como pode ser observado na imagem a seguir. A questão que buscamos responder neste estágio foi: o que pode ser sugerido para combater a seca, a desertificação e as inundações em cada um dos casos analisados? Para isso, elaboramos uma lista de diretrizes desejadas, que

poderiam ou não se aplicar aos três recortes selecionados. São elas:

Reter água: esse processo envolve a criação de sistemas que armazenam a água da chuva, ajudando a recarregar os aquíferos e reduzindo o escoamento superficial. Trata-se de algo crucial para a preservação dos recursos hídricos em regiões propensas à escassez.

Diminuir o escoamento superficial: significa implementar práticas que aumentem a infiltração da água no solo, como o uso de pavimentação permeável e técnicas de bioengenharia. Essa redução é vital para evitar a erosão do solo e garantir a disponibilidade de água para as plantas.

Implantar vegetação para a proteção da mata ciliar: a vegetação nas margens de rios

e córregos atua como uma barreira natural, protegendo os solos da erosão e filtrando poluentes. Essa medida é essencial para manter a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas aquáticos.

Proteger a vegetação existente: a proteção da vegetação nativa ajuda a preservar a biodiversidade e a estabilidade do solo. As raízes das plantas ajudam a segurar o solo, prevenindo a degradação e a desertificação.

Filtrar e reter águas cinzas: as águas cinzas, provenientes de pias, chuveiros e máquinas de lavar, podem ser tratadas e reutilizadas para irrigação e outras atividades. Essa prática não apenas reduz o consumo de água potável, mas também ajuda a manter a umidade do solo.

Criar ambientes de sombra: ambientes de sombra, proporcionados por árvores e outras

vegetações, ajudam a reduzir a temperatura do solo e a evaporação da água, mantendo a umidade necessária para a vida das plantas e a saúde do solo.

Diversificar culturas de plantio: a diversificação das culturas aumenta a resiliência agrícola, reduzindo a dependência de uma única espécie e melhorando a saúde do solo. Essa prática contribui para a segurança alimentar e a sustentabilidade econômica.

Enriquecer o solo: enriquecer o solo com matéria orgânica e nutrientes é fundamental para melhorar sua fertilidade e capacidade de retenção de água. Solos saudáveis são essenciais para a produção agrícola sustentável e para a prevenção da degradação.

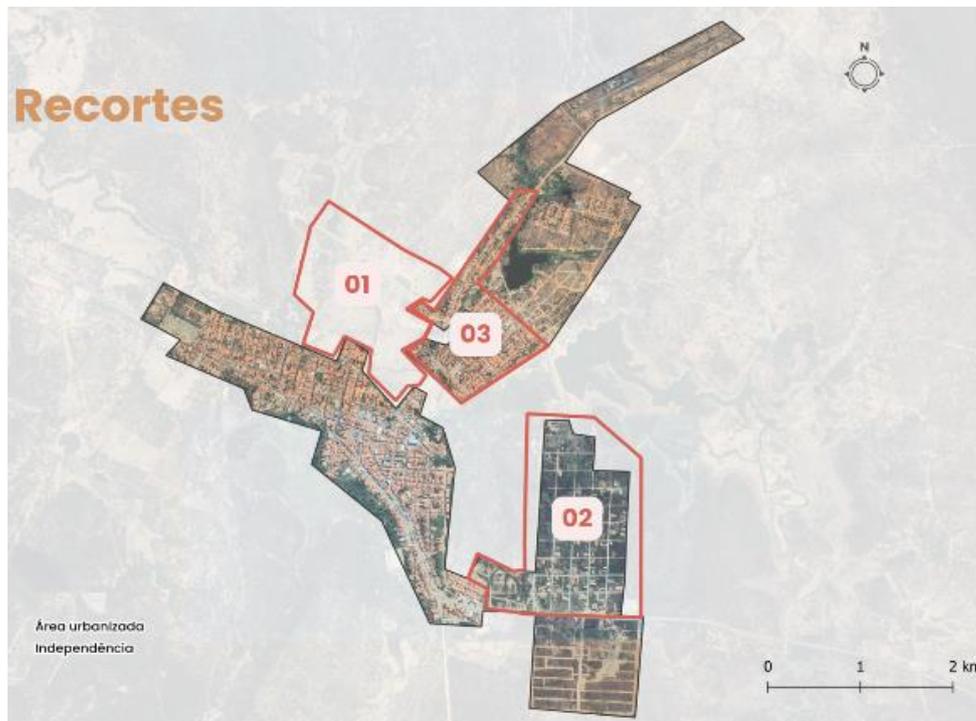


Figura 7. Recortes de análise do município de Independência (CE) (fonte: elaborado pelas autoras via extração de imagens de satélite, 2024)

Essas diretrizes visam promover uma abordagem integrada para o manejo dos recursos naturais, contribuindo para a resiliência das comunidades frente aos desafios impostos pela seca, desertificação e inundações.

A partir das diretrizes estabelecidas, que identificam ações viáveis para cada um dos recortes selecionados, passamos para o último ponto, que aborda as Soluções Baseadas na Natureza (SBNs). Selecionamos algumas que

podem ser eficazes no combate ao agravamento das mudanças climáticas em regiões semiáridas. São elas:

Plantio de árvores: é uma técnica que visa aumentar a cobertura vegetal, promovendo a retenção de água no solo, reduzindo a erosão e melhorando a qualidade do ar. As árvores também ajudam a regular o clima local e a promover a biodiversidade, sendo essenciais para a sustentabilidade dos ecossistemas.

Agroflorestas: combinam a agricultura com o cultivo de árvores, criando um sistema diversificado que aumenta a produtividade e a resiliência do solo. Esse método melhora a fertilidade, retém água e oferece um habitat para a fauna, contribuindo para a recuperação de áreas degradadas.

Barraginha: As barraginhas são pequenas bacias escavadas no terreno, projetadas para captar e infiltrar a água da chuva. Essa técnica contribui para a recarga dos aquíferos e a redução da erosão do solo. Com capacidade para armazenar entre 200 e 400 mil litros de água, elas são especialmente eficazes em regiões semiáridas. Ao reduzir a velocidade do escoamento superficial e reter temporariamente a água, as barraginhas aumentam a umidade do solo, melhorando sua fertilidade e beneficiando a vegetação local. Contudo, devem ser evitadas em Áreas de Preservação Permanente (APP) e em terrenos com declividade superior a 16%, para garantir a integridade da estrutura.

Sistemas biofiltrantes: Sistemas biofiltrantes utilizam processos naturais para tratar e filtrar águas residuais, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos e a proteção da qualidade da água. Essas técnicas ajudam a reter nutrientes e melhorar a saúde dos ecossistemas aquáticos, fundamentais em áreas vulneráveis à desertificação.

Barramento Base Zero: Essa técnica, utilizada em regiões como a de Irauçuba, no Ceará, evita a entrada de sedimentos nos cursos d'água e revitaliza o solo. A técnica ajuda a reter nutrientes e água, promovendo a recuperação de terras anteriormente degradadas. O uso de cordões de pedra, que reduz a velocidade das enxurradas, é um complemento eficaz, aumentando a infiltração e o armazenamento de água.

Cisterna: é um reservatório utilizado para armazenar água da chuva, permitindo seu uso durante períodos de seca. Essa técnica é vital para garantir o abastecimento hídrico em regiões semiáridas, contribuindo para a segurança alimentar e a sustentabilidade das comunidades locais.

Rotação de culturas: consiste em alternar o plantio de diferentes espécies em uma mesma área, o que melhora a fertilidade do solo, reduz a incidência de pragas e doenças e promove a

diversidade biológica. Essa prática ajuda a manter a saúde do solo e a sua capacidade de reter água.

Lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta: esses sistemas integrados combinam atividades agrícolas com a criação de animais e o cultivo de árvores, promovendo a sustentabilidade e a resiliência dos ecossistemas. Essas práticas ajudam a melhorar a cobertura do solo, reduzir a erosão e aumentar a eficiência na utilização dos recursos naturais.

Facilitação ecológica: refere-se à prática de plantar cactos e outras plantas pioneiras em áreas não vegetadas para preparar o solo para o cultivo de outras espécies. Essa técnica é essencial para a recuperação de solos degradados, pois as plantas pioneiras ajudam a melhorar as condições do solo, facilitando a colonização por outras espécies vegetais.

Em resumo, para cada recorte analisado, realizamos uma avaliação com base nos indicadores selecionados, identificando as necessidades de recuperação mais urgentes. Em seguida, sugerimos as Soluções Baseadas na Natureza (SBNs) que melhor atendem a essas demandas específicas. É importante destacar que este trabalho representa apenas uma ferramenta em desenvolvimento, que pode e deve ser aprimorada no futuro. As SBNs não são soluções milagrosas; elas requerem planejamento cuidadoso, uma mudança de postura por parte dos gestores, alocação de recursos adequados e, acima de tudo, a valorização dos conhecimentos populares na construção de seus espaços. O diagrama a seguir apresenta a metodologia em formato de síntese (Figura 8).

Reconhecemos as limitações deste trabalho. Embora a abordagem seja um tanto tecnocrática, o objetivo principal é criar ferramentas que possam servir de apoio à tomada de decisões políticas. A implementação e a manutenção dessas iniciativas dependem, essencialmente, do envolvimento ativo da sociedade civil. Enquanto o Sudeste já conta com diversas implantações e debates em torno desse tema, é crucial que o Nordeste, especialmente o semiárido cearense, também participe dessas discussões e ganhe mais visibilidade no cenário atual.



Figura 8. Diagrama síntese da aplicação da metodologia (fonte: elaborado pelas autoras)

Soluções Baseadas na Natureza(SBN) no semiárido

Recorte 01

A seleção dos recortes teve o intuito de incorporar maior diversidade de situações na análise. O recorte 01 está localizado na zona rural do município, porém em uma região limítrofe à mancha urbana, participando diretamente nas dinâmicas hídricas da área urbanizada e podendo ser influenciada futuramente por sua expansão. Ao analisar o mapa da Figura 9, verificamos que este recorte apresenta altíssimo risco de inundação, apresenta pouca cobertura vegetal, está em fundo de vale e seu uso predominante é a agropecuária.

Esse recorte, portanto, apresenta-se vulnerável às consequências de eventos extremos, tendo em vista que o baixo nível de cobertura vegetal dificulta a capacidade de retenção de água no solo e aumenta a velocidade de escoamento superficial, elevando a vulnerabilidade a inundações. A baixa retenção de água também fragiliza o

território frente aos longos períodos de estiagem. Isso prejudica as atividades humanas desenvolvidas na área além de influenciar o microclima das áreas urbanas limítrofes.

Partindo dessa análise, observamos que para amortecer esses riscos é necessário reter água, diminuir a velocidade do escoamento superficial, aumentar a permeabilidade do solo, proteger as margens dos recursos hídricos com vegetação e diversificar as culturas de plantio. Para alcançar esses objetivos, propusemos soluções simples e já praticadas em outras regiões do semiárido, são elas: facilitação ecológica, barrocinha e barramento base zero, que foram explicadas anteriormente (Figura 10). As ações selecionadas consideraram tanto a situação biofísica do local, como o tipo de uso desenvolvido atualmente, com o intuito de aumentar a área vegetada e a retenção de água no local, que contribui tanto com a atividade agrícola como com o amortecimento dos efeitos dos eventos de seca e inundação.

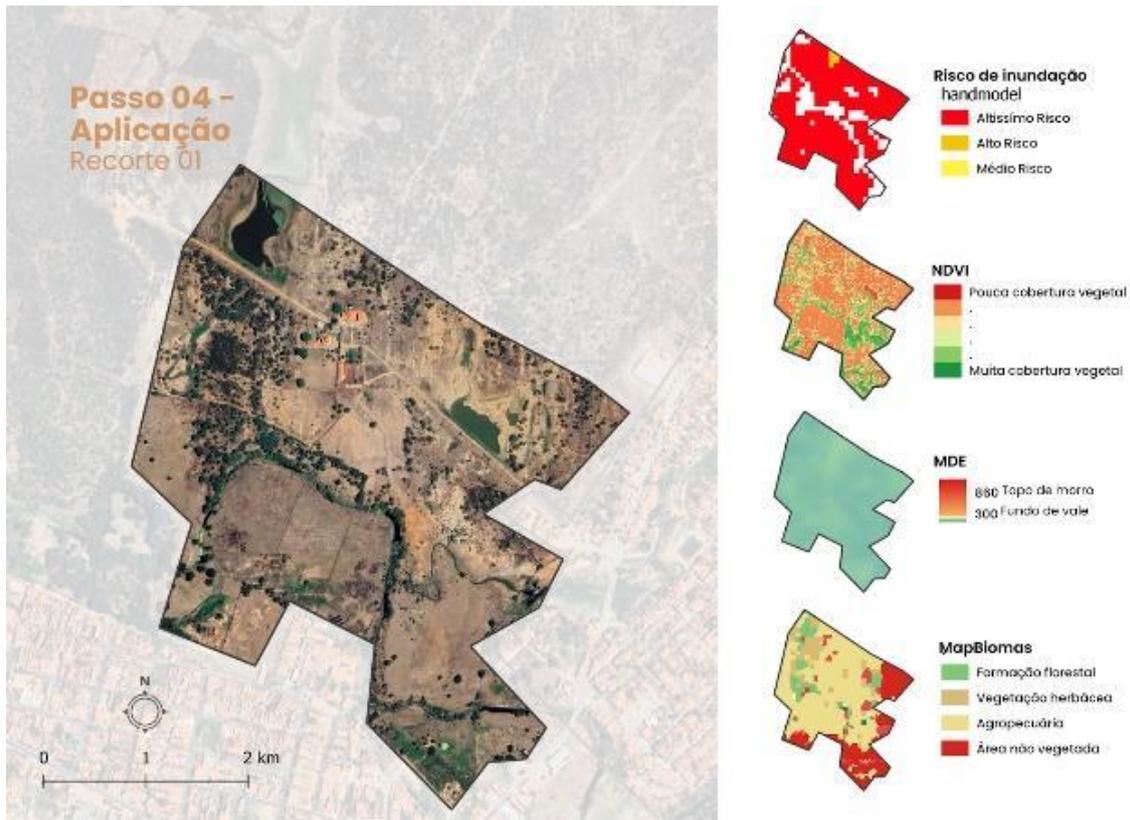


Figura 9. Recorte 01 com camadas de análise (Hand Model, NDVI, MDE, MapBiomas e imagem de satélite) (fonte: elaborado pelas autoras via extração de imagens de satélite, 2024)



Figura 10. Recorte 01 com aplicação da metodologia (fonte: elaborado pelas autoras via extração de imagens de satélite, 2024)

Recorte 02

O recorte 02 está localizado na zona urbana do município, em uma área de baixa densidade construtiva. Este recorte encontra-se parcelado, com vários lotes vazios vegetados cercados por arruamentos, indicando possível adensamento urbano futuro. Ao analisar a imagem abaixo, verificamos que, quanto maior a proximidade do corpo hídrico, mais alto o risco de inundação, que, dentro deste recorte, varia entre altíssimo, alto e médio. A maior parte das edificações está localizada na área de alto risco de inundação (que cobre a maior parte do recorte), mas também há edificações nas áreas de médio e altíssimo risco. O uso predominante nesse recorte é habitacional, ou seja, as pessoas que moram

nesses lugares estão muito vulneráveis à inundações. Esse recorte apresenta média cobertura vegetal, também se encontra em fundo de vale e apresenta junto ao uso habitacional o uso agropecuário, sendo esse território tanto moradia como fonte de recursos para a população.

A existência de pessoas habitando uma área de risco de inundação aumenta a exposição à ocorrência de desastres, apesar de haver alguma cobertura vegetal, a existência de um parcelamento indica que é uma área que pode ter vegetação suprimida e aumento da ocupação urbana. Eventos de seca também podem afetar diretamente a vida dessa população (Figura 11).

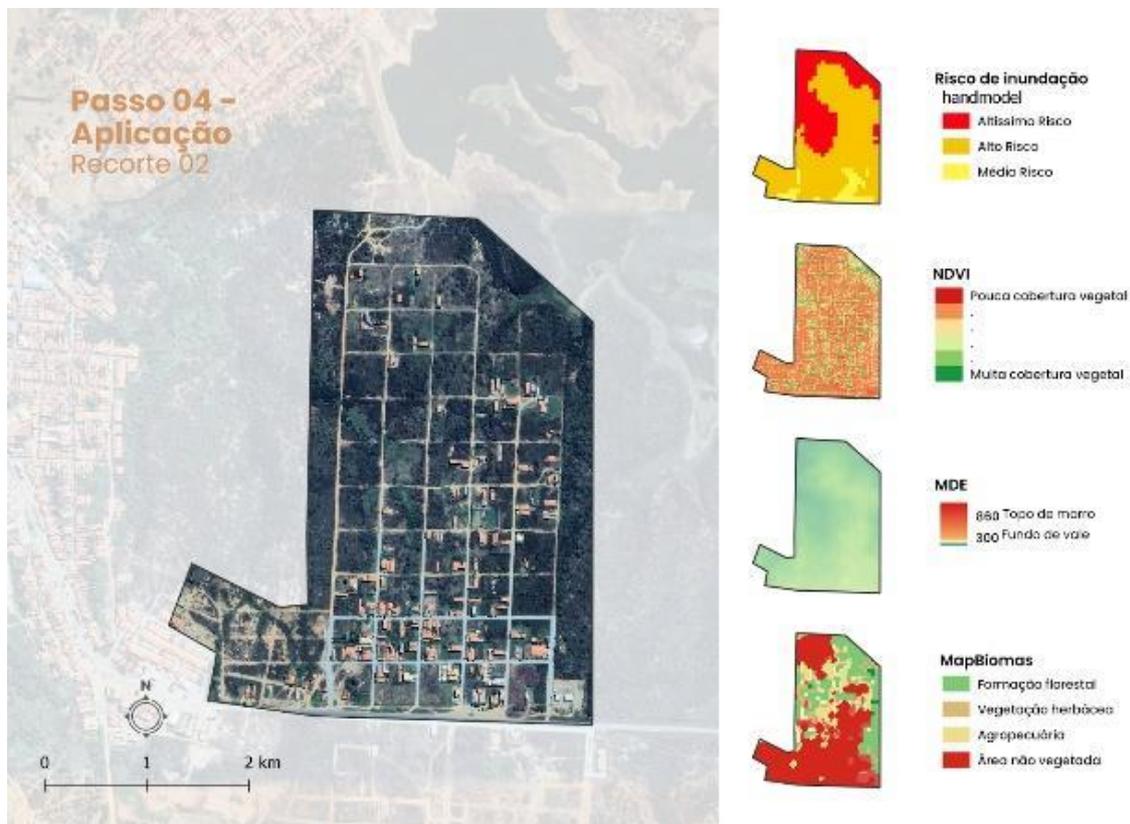


Figura 11. Recorte 02 com camadas de análise (Hand Model, NDVI, MDE, MapBiomias e imagem de satélite) (fonte: elaborado pelas autoras via extração de imagens de satélite, 2024)

Partindo dessa análise, observamos que para atenuar esses riscos é necessário reter água, proteger a vegetação existente, diminuir a velocidade da água, criar ambientes de sombra, filtrar e reter águas cinzas e aumentar a permeabilidade do solo. Para alcançar esses objetivos, selecionamos as seguintes ações: plantio de árvores, com a finalidade de reter água, reduzir a velocidade do escoamento superficial, intervir no microclima do recorte

a fim de proporcionar conforto ambiental aos habitantes; agrofloresta, rotação de culturas e lavoura-pecuária-floresta como forma de aprimorar a atividade agropecuária já desenvolvida no local de forma sinérgica com as dinâmicas da natureza; barraginha que contribui com retenção de água, reduzindo a vulnerabilidade aos eventos de seca; barramento base zero, que reduz a velocidade do escoamento superficial, contendo

enxurradas e reduzindo a exposição da população a inundações; Cisternas, a fim de reter água para utilização humana e sistemas bio filtrantes, com o intuito de reter e purificar

as águas servidas de forma a umidificar e nutrir o solo da área (Figura 12).



Figura 12. Recorte 02 com aplicação da metodologia (fonte: elaborado pelas autoras via extração de imagens de satélite, 2024)

Recorte 03

O recorte 03, está também inserido na mancha urbana do município. É caracterizado pela média densidade construtiva e pela exposição de seus habitantes ao altíssimo risco de inundação. Seu uso predominante é habitacional, não havendo atividade agropecuária notável para esta análise. Além disso, apresenta pouca cobertura vegetal, havendo intensa aridez no meio urbano, e está em fundo de vale. A soma dessas características indica a altíssima exposição dos seus habitantes a eventos extremos tanto de secas, nos períodos de estiagem, como de inundações, nas quadras chuvosas. A concentração populacional nesse lugar, potencializa os efeitos de desastres ambientais, pois sua ocorrência pode impactar

um número maior de pessoas quando comparado aos outros recortes (Figura 13).

A partir da análise dos dados, as ações mais indicadas para esse recorte são: reter água, proteger a vegetação existente, diminuir a velocidade da água, criar ambiente de sombra, diminuir a velocidade do escoamento superficial da água, aumentar a permeabilidade do solo e filtrar e reter águas cinzas. Para isso, elencamos como estratégias o plantio de árvores, a implantação de sistemas bio filtrantes como jardins de chuva e biovaletas tanto dentro dos lotes quanto nas áreas públicas, com o intuito de reter água, aumentar a permeabilidade do solo, aproveitar águas cinzas filtradas, aumentando a retenção de água no local e cisternas, para armazenamento de água (Figura 14).

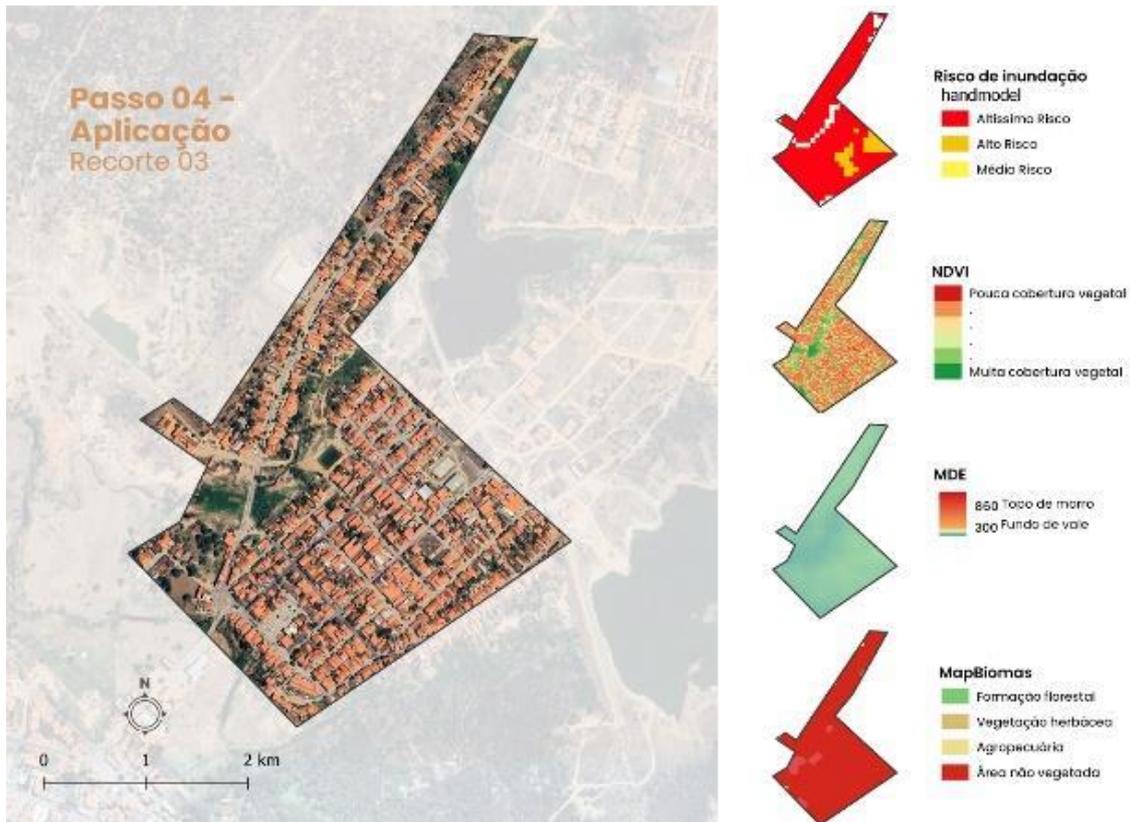


Figura 13. Recorte 03 com camadas de análise (Hand Model, NDVI, MDE, MapBiomas e imagem de satélite) (fonte: elaborado pelas autoras via extração de imagens de satélite, 2024)



Figura 14. Recorte 03 com aplicação da metodologia (fonte: elaborado pelas autoras via extração de imagens de satélite, 2024)

Considerações finais

Como considerações finais deste estudo, destacamos a relação crucial entre as Soluções Baseadas na Natureza (SBN), a morfologia urbana e a produção do espaço urbano. Essa interação permite que estratégias baseadas em processos naturais abordem tanto os desafios climáticos quanto às demandas de planejamento urbano, especialmente em áreas de alta vulnerabilidade, como as do semiárido brasileiro.

A tecnologia, compreendida como meio e não como um fim, pode ser essencial para a gestão pública ao possibilitar a coleta e análise de dados primários, promovendo maior independência de informações externas e facilitando a identificação de áreas propícias para Soluções Baseadas na Natureza (SBNs). Essa independência é especialmente importante no semiárido, onde as variações climáticas e a falta de dados são desafios críticos. A metodologia proposta, embora ainda em aprimoramento, busca apoiar a gestão pública com uma ferramenta prática e replicável, que contribui para implementar políticas urbanas resilientes, direcionadas às especificidades dos municípios, especialmente aqueles vulneráveis à desertificação e inundações.

Em estudos futuros, pretende-se explorar mais a fundo a integração das SBNs com políticas públicas e aprimorar a tecnologia empregada para maior precisão. Por fim, este trabalho apresenta uma limitação evidente no que diz respeito à participação popular. As Soluções Baseadas na Natureza (SBNs) requerem a participação social em todas as suas etapas, desde a concepção até a implementação. O que é importante de ser evidenciado é que o sucesso das SBNs depende do respeito e valorização dos saberes e práticas culturais locais, permitindo que as soluções se ajustem às reais necessidades das comunidades envolvidas, promovendo maior eficácia e sustentabilidade dos projetos.

Referências

Aderaldo, P.I.C. e Bastos, F. de H. (2017) 'Mapeamento e caracterização ambiental no município de Independência - Ceará', *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, 1. Disponível em:

<https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2204> (Acessado: 29 julho 2024).

Ceará (2010) *Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, PAE-CE*. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente / Secretaria dos Recursos Hídricos.

Costa, S., Netto, M., Schiavo, P., Bertu, L., Jacomini, A. e Maciel, M. (2017) 'Estudos morfológicos como documentação: palimpsesto das formas urbanas de Belo Horizonte', in Mendonça, E. e Esteves Junior, M. (eds.) *Anais da 6ª Conferência da Rede Lusófona de Morfologia Urbana, PNUM 2017*, Vitória, Brasil, 24-25 agosto. Vitória: UFES, pp. 411-419. Disponível em: <https://pnum2017.wixsite.com/pnum2017>.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) (2024) *Sequestro de carbono no semiárido*. Disponível em: <https://www.fapeal.br/2024/05/sequestro-carbono-semiarido/> (Acessado: 29 outubro 2024).

Gobatti, L. (2021) 'Planting Nature-based Solutions in Latin America: how decolonial and dialectical approaches can make paradigm shifts flourish', *Oxford Urbanists*, 13 outubro. Disponível em: <https://www.oxford-urbanists.com/magazine/2021/10/13/planting-nature-based-solutions-in-latinamerica-how-decolonial-and-dialectical-approaches-can-make-paradigm-shifts-flourish> (Acessado: 20 outubro 2022).

Moura, N.C.B. de (2014) *Biorretenção: tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva*. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.16.2014.tde-30052014-104153> (Acessado: 12 março 2024).

Moudon, A.V. (1997) 'Urban morphology as an emerging interdisciplinary field', *Urban Morphology*, 1, pp. 3-10.

Pellegrino, P. e Moura, N.B. (orgs.) (2017) *Estratégias para uma infraestrutura verde*. Barueri-SP: Manole.

Santos, M. (2014) *Metamorfoses do Espaço Habitado: Fundamentos Teóricos e Metodológicos da Geografia*. 6ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

Santos, R.E. e Kapp, S. (2024) 'Recuperar as águas urbanas exige compartilhar saberes e ações', in *Observatório das Metrôpoles, Brasil de Fato*. Belo Horizonte, 17 junho.

United Nations World Water Assessment Programme (WWAP/UN-WATER) (2018)

The United Nations World Water Development Report: Nature-Based Solutions for Water. Paris: UNESCO. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261424e.pdf> (Acessado: 1 março 2024).

Information technology as support for the implementation of Nature-Based Solutions (NBS)

Abstract. *This article examines the application of information technology for the strategic selection of Nature-Based Solutions (NbS) in the municipality of Independência, located in Ceará's semi-arid region. Urban morphology is identified as a central element for integrating natural processes into urban planning, particularly in contexts of climate vulnerability. The study highlights that traditional urbanization, characterized by rigid infrastructure and impermeability, distances cities from harmonious coexistence with the environment, contributing to flooding and desertification. A methodology is proposed that employs information technology to identify specific zones for the implementation of NbS, taking into account the city's morphological configuration and water management challenges. The analysis evaluates three distinct areas, aiming to promote urbanization that is more integrated with the natural landscape through techniques such as biofiltration systems and low-impact dams for water retention and restoration of degraded areas. The study suggests that morphological reconfiguration, combined with NbS practices, can enhance urban resilience, emphasizing that successful NbS implementation relies on community participation and respect for traditional knowledge.*

Keywords. *Nature-Based Solutions (NbS); Semi-arid; Information technology; Climate change; Urban morphology.*

Editor responsável pela submissão: Ana Cláudia Cardoso, Kamila Oliveira e Alberto Lima.

Licenciado sob uma licença Creative Commons.

