



FEIRA NOVA 2030

Um Living Lab para Clima, Água e Sustentabilidade Territorial

ORGANIZADORES

António Manuel Rochette Cordeiro • José Miguel Esteves Lameiras • Claudison Vieira de Albuquerque





FEIRA NOVA 2030

Um Living Lab para Clima, Água e Sustentabilidade Territorial

O modelo Cidade–Rios–Reservatório aplicado ao agreste pernambucano:
monitoramento microclimático, governança ambiental
e ação educativa territorial

Estudo aplicado ao território de
FEIRA NOVA
Pernambuco – Brasil

Organizadores

António Manuel Rochette Cordeiro
José Miguel Esteves Lameiras
Claudison Vieira de Albuquerque



2026

Créditos

©2026.

*Esta obra é disponibilizada para fins acadêmicos, técnicos e de apoio à decisão pública. Alguns direitos reservados. É permitida a reprodução, disseminação e utilização desta obra, em parte ou na sua totalidade, nos termos da licença **Creative Commons CC BY-NC-SA**. Deve ser citada a fonte e é vedada sua utilização comercial.*

Um Living Lab para Clima, Água e Sustentabilidade Territorial

O modelo Cidade-Rios-Reservatório aplicado ao agreste pernambucano: monitoramento microclimático, governança ambiental e ação educativa territorial. Estudo aplicado ao território de Feira Nova, Pernambuco – Brasil

Organizadores

*Antônio Manuel Rochette Cordeiro
José Miguel Esteves Lameiras
Claudison Vieira de Albuquerque*

Colaboradores

*Joaquim Francisco Pereira Fialho
João Francisco de Moura Ferreirinha
Marcos Estevão Soares Junior
Luiz Antônio da Silva Lima
Marina Filipa Maltez Chaves
André Francisco Caridade Lucas*

Diagramação e capa

Silvânia Cosmo Esmerindo Vieira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Feira Nova 2030 [livro eletrônico] : um Living Lab para clima, água e sustentabilidade territorial / organizadores Antônio Manuel Rochette Cordeiro, José Miguel Esteves Lameiras, Claudison Vieira de Albuquerque. -- Feira Nova, PE : Ed. dos Autores, 2026. -- (O modelo cidade-rios-reservatório aplicado ao agreste pernambucano: monitoramento microclimático, governança ambiental e ação educativa territorial) Pub

Vários autores.

Bibliografia

ISBN 978-65-02-20966-0

1. Educação ambiental 2. Geociências 3. Recursos hídricos - Gestão - Paraná (Estado) 4. Monitoramento ambiental 5. Mudanças climáticas 6. Planejamento urbano 7. Políticas públicas - Araraquara (SP)
I. Cordeiro, Antônio Manuel Rochette. II. Lameiras, José Miguel Esteves. III. Albuquerque, Claudison Vieira de. IV. Série.

26-374539.0

CDD-333.91098134

Índices para catálogo sistemático:

1. Feira Nova : Pernambuco : Estado : Recursos hídricos : Gestão 333.91098134

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

Sumário



<i>Lista de Figuras</i>	8
<i>Lista de Quadros</i>	10
<i>Lista de Siglas e Acrônimos</i>	11
<i>Apresentação</i>	12
<i>Resumo Executivo</i>	13
1 ENQUADRAMENTO E JUSTIFICATIVA ~~~~~	15
1.1. O reservatório como infraestrutura crítica do agreste pernambucano	15
1.2. A cidade como polo de forçantes térmicos e hidrológicos	16
1.3. Objetivos do Living Lab	16
2 CARACTERIZAÇÃO DO TERRITÓRIO ~~~~~	17
2.1. Feira Nova no agreste pernambucano	17
2.2. Morfotopografia, hidrografia e organização da drenagem	17
2.3. Conectividade hidrológica entre cidade e reservatório	19
2.4. Estrutura urbana, materiais construtivos e padrões de uso do solo	20
2.5. Implicações territoriais para o desenho do Living Lab.....	21
3 PROBLEMA AMBIENTAL: QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO ~~~~~	22
3.1. O reservatório como sistema receptor e acumulador.....	22
3.2. Evidências disponíveis sobre a qualidade da água e dos sedimentos	22
3.3. Pressões difusas a montante	23
3.4. Justificativa para uma abordagem integrada	23
3.5. Programa complementar de monitoramento da qualidade da água	24

4 ENQUADRAMENTO CONCEITUAL: LIVING LAB AMBIENTAL ~~~~~	25
4.1. O Living Lab como pesquisa-ação territorial	25
4.2. Modelo conceitual Cidade-Rios-Reservatório	25
4.3. Arquitetura conceitual: níveis de observação	26
4.4. Hipóteses estruturantes	27
4.5. O esquema conceitual como instrumento de comunicação	27
5 METODOLOGIA: ARQUITETURA DO LIVING LAB E REDE DE MONITORAMENTO ~~~~~	28
5.1. Princípios metodológicos gerais	28
5.2. Quadro síntese da rede de monitoramento.....	28
5.3. Arquitetura da rede terrestre (13 data loggers)	29
5.4. Variáveis monitoradas e configuração dos sensores	31
5.5. Protocolo de instalação e controle de qualidade	31
5.6. Estações meteorológicas automáticas.....	31
5.7. Monitoramento térmico aquático da barragem.....	32
5.8. Termografia aérea por UAV: leitura fina do território	32
5.9. Estratégia de análise e integração dos dados	33
6 RESULTADOS ESPERADOS E TIPOS DE ANÁLISE ~~~~~	35
6.1. Tipologia de resultados	35
6.2. Tipos de análise previstos.....	36
6.3. Produtos cartográficos e indicadores	36
6.4. Valor agregado para a gestão pública local.....	36
7 IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS MUNICIPAIS ~~~~~	37
7.1. Planejamento urbano e mitigação climática	37
7.2. Proteção de corredores fluviais e gestão da bacia hidrográfica	37
7.3. Gestão do reservatório e segurança hídrica	38
7.4. Quadro econômico das NBS: ordem de grandeza dos custos e benefícios.....	38

7.5. Educação ambiental, participação social e governança territorial.....	39
7.6. Integração nos instrumentos de política municipal	39
8 IMPLICAÇÕES EDUCACIONAIS E AÇÃO EDUCATIVA TERRITORIAL~~~~~	41
8.1. Educação como pilar da sustentabilidade territorial.....	41
8.2. Integração do Living Lab no currículo escolar	41
8.3. Formação continuada de professores e inovação pedagógica.....	42
8.4. Educação não formal, ciência cidadã e envolvimento comunitário	42
8.5. Articulação com a Agenda 2030	42
8.6. Síntese estratégica	42
9 ROADMAP DE IMPLEMENTAÇÃO ~~~~~	44
9.1. Princípios orientadores	44
9.2. Fase 1 – Preparação institucional (0–6 meses)	44
9.3. Fase 2 – Implementação piloto (6–18 meses).....	45
9.4. Fase 3 – Consolidação e integração em políticas públicas (18–36 meses)	45
9.5. Fase 4 – Escalonamento (36+ meses)	46
9.6. Indicadores de sucesso e mecanismos de avaliação.....	46
10 LIMITAÇÕES, RISCOS E DESAFIOS ~~~~~	47
10.1. Limitações técnicas e operacionais.....	47
10.2. Riscos institucionais e de governança.....	47
10.3. Desafios financeiros e de sustentabilidade econômica	47
10.4. Desafios socioterritoriais e de apropriação social	48
10.5. Limitações analíticas e riscos de interpretação	48
10.6. Síntese crítica	48
11 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES ESTRATÉGICAS ~~~~~	49
11.1. Conclusões principais	49
11.2. Quadro de prioridades: curto, médio e longo prazos	50
11.3. Recomendações estratégicas para a gestão municipal	50

11.4. Recomendações operacionais de curto prazo	51
11.5. Perspectivas de médio e longo prazo	51
11.6. Consideração final	51
Glossário	53
Referências Bibliográficas	56

Lista de Figuras



A obra inclui catorze figuras numeradas sequencialmente, descritas abaixo. As legendas completas acompanham cada figura no corpo do texto.

- Figura 1 Localização e contextualização territorial de Feira Nova (PE).....18**
Mapa de localização no estado de Pernambuco e Nordeste, com hipsometria, ocupação do solo, rede rodoviária e corpos d'água.
- Figura 2 Vista ortofotográfica do território de Feira Nova.....18**
Ortofoto de alta resolução do território municipal, evidenciando a mancha urbana, a matriz rural e a configuração dos vales.
- Figura 3 Hipsometria do território de Feira Nova19**
Carta hipsométrica (0–253 m) com a área urbana destacada e os vales convergentes para o reservatório.
- Figura 4 Estrutura urbana e padrões de ocupação do solo em Feira Nova20**
Ortofoto detalhada do núcleo urbano e seu entorno, evidenciando a malha compacta central e a fragmentação da cobertura vegetal urbana.
- Figura 5 Uso e cobertura do solo do município de Feira Nova21**
Mapa MapBiomas (Coleção 9) com classes de formação florestal e savânica, pastagem, agricultura, mosaico de usos, área urbanizada e corpos d'água.
- Figura 6 O reservatório como sistema receptor e acumulador24**
- Figura 7 Modelo conceitual Cidade–Rios–Reservatório26**
Esquema síntese: cidade como fonte de fluxos térmico, hidrológico e sedimentar; rios como transmissores e moduladores; reservatório como sistema receptor.
- Figura 8 Data loggers utilizados na rede de monitoramento terrestre.....29**
Especificação dos Tinytag TGP-4017 (Ta) e TGP-4500 (Ta + UR), com proteção IP68 e adequação ao monitoramento contínuo em campo.
- Figura 9 – Espacialização da rede de monitoramento em Feira Nova.....30**
Mapa operacional da distribuição das estações meteorológicas, estações aquáticas e pontos fixos e móveis de medição na cidade e nos corredores fluviais.

Figura 10 – Estação meteorológica urbana de Feira Nova.	31
Figura 11 – Contrastes térmicos e influência da arborização no microclima urbano	33
<i>Imagens convencionais e termográficas obtidas por UAV em áreas escolares, demonstrando diferenças superficiais entre setores arborizados e impermeabilizados.</i>	
Figura 12 Arquitetura operacional do Living Lab: do sensor à decisão pública.....	34
<i>Esquema dos quatro blocos funcionais – sensores, base de dados, análise e decisão pública – e do fluxo ascendente de informação.</i>	
Figura 13 Soluções Baseadas na Natureza (NBS) para o território de Feira Nova.....	38
<i>Síntese visual das três famílias principais de NBS: arborização urbana, corredores verdes e renaturalização de margens, adaptadas ao agreste pernambucano.</i>	
Figura 14 – Estrutura sistêmica do Living Lab de Feira Nova.....	40
<i>Esquema integrado articulando governança, sustentabilidade ambiental, inovação, impactos e infraestruturas e dados abertos.</i>	
Figura 15 O Living Lab como sistema educativo	43
<i>Esquema do Living Lab enquanto ecossistema educativo, articulando escola, comunidade escolar, órgãos ambientais e dados.</i>	
Figura 16 Síntese integrada do sistema Cidade–Rios–Reservatório	52
<i>Infografia final: modelo conceitual + rede de monitoramento + duas saídas (políticas públicas e educação ambiental).</i>	

Lista de Quadros



A obra inclui três quadros síntese que organizam informação técnica, econômica e estratégica do Living Lab.

Quadro 1 Componentes da rede de monitoramento, variáveis e escalas28

Síntese da arquitetura técnica do Living Lab – estações meteorológicas, data loggers terrestres e aquáticos, termografia UAV e sonda de qualidade da água –, com variáveis monitoradas, frequência de aquisição e escala de análise (Cap. 5).

Quadro 2 Síntese qualitativa de custo–benefício de NBS para Feira Nova39

Avaliação qualitativa de cinco famílias de Soluções Baseadas na Natureza por custo relativo, horizonte de retorno e cobenefícios prioritários (Cap. 7).

Quadro 3 Quadro síntese de prioridades estratégicas (curto, médio e longo prazos).....50

Matriz de prioridades para a gestão municipal organizada em cinco eixos – institucionalização, infraestrutura verde, reservatório e bacia, educação ambiental, comunicação e participação – e três horizontes temporais (Cap. 11).

Lista de Siglas e Acrônimos



A lista a seguir reúne as siglas e acrônimos utilizados ao longo da obra. Sempre que pertinente, indica-se a forma por extenso em português, com tradução ou referência institucional quando aplicável.

ANA	<i>Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico</i>
APP	<i>Área de Preservação Permanente (Código Florestal Brasileiro)</i>
BNCC	<i>Base Nacional Comum Curricular</i>
CE	<i>Condutividade Elétrica</i>
CONAMA	<i>Conselho Nacional do Meio Ambiente</i>
DEM	<i>Digital Elevation Model – Modelo Digital de Elevação</i>
Hg	<i>Mercúrio (elemento químico)</i>
IBGE	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
IDE-MS	<i>Infraestrutura de Dados Espaciais (fonte cartográfica)</i>
IP68	<i>Grau de proteção (Ingress Protection): poeira e imersão prolongada em água</i>
LST	<i>Land Surface Temperature – Temperatura da Superfície Terrestre</i>
NBS / SbN	<i>Nature-based Solutions / Soluções Baseadas na Natureza</i>
OD	<i>Oxigênio Dissolvido</i>
ODS	<i>Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Agenda 2030, ONU)</i>
PE3D	<i>Plataforma de Dados Geoespaciais 3D do Estado de Pernambuco</i>
Pb	<i>Chumbo (elemento químico)</i>
SIG / GIS	<i>Sistema de Informações Geográficas / Geographic Information System</i>
SIRGAS	<i>Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas</i>
SUS	<i>Sistema Único de Saúde</i>
Ta	<i>Temperatura do ar</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle – Veículo Aéreo Não Tripulado</i>
UHI	<i>Urban Heat Island – Ilha de Calor Urbana</i>
UR	<i>Umidade Relativa do ar</i>

Apresentação



Este livro propõe o desenvolvimento de um Living Lab Ambiental como instrumento integrado de monitoramento topoclimático e microclimático, apoio à decisão pública e ação educativa territorial, em um contexto semiárido caracterizado por elevada vulnerabilidade hídrica. O território do município de Feira Nova, no agreste pernambucano, oferece uma configuração espacial particularmente favorável: uma cidade de baixa verticalização, inserida em um mosaico rural agreste, com três cursos d'água que drenam para um reservatório a Norte/Nordeste. Esse arranjo permite ler o território como uma cadeia funcional Cidade–Rios–Reservatório, na qual cada subsistema desempenha um papel distinto na transmissão e acumulação de impactos ambientais.

A obra dirige-se a um público amplo: gestores municipais e técnicos das secretarias de meio ambiente, planejamento, recursos hídricos e educação; pesquisadores e estudantes das áreas de geografia, arquitetura paisagista, ciências do ambiente, planejamento urbano, hidrologia e educação ambiental; professores da educação básica e do ensino médio que pretendam articular a sala de aula com o território; e cidadãos interessados em compreender como ciência, política pública e participação social podem articular-se na proteção dos recursos hídricos e na adaptação às mudanças climáticas.

A estrutura do livro foi pensada para apoiar tanto uma leitura técnica integral quanto consultas pontuais. O Resumo Executivo oferece uma síntese rápida da proposta. Os capítulos 1 a 4 estabelecem o enquadramento conceitual, territorial e ambiental. O capítulo 5 apresenta o desenho metodológico do Living Lab, incluindo a rede terrestre, o monitoramento aquático e a termografia aérea por UAV. Os capítulos 6 e 7 discutem resultados esperados e suas implicações para as políticas municipais. O capítulo 8 desenvolve a componente educacional. Os capítulos 9 e 10 oferecem um roadmap de implementação e uma análise crítica de limitações e riscos. O capítulo 11 sintetiza conclusões e recomendações estratégicas e apresenta um quadro síntese de prioridades temporais.

Que este livro possa servir, simultaneamente, como manual técnico, instrumento de diálogo institucional e ponto de partida para uma cultura local de monitoramento, decisão informada e cuidado partilhado pelo território.

Resumo Executivo



Este livro propõe a implementação de um Living Lab Ambiental como plataforma integrada de monitoramento topoclimático e microclimático, apoio à decisão pública e ação educativa territorial em contexto semiárido. O modelo Cidade–Rios–Reservatório estrutura a leitura dos impactos ambientais de forma encadeada: a cidade como fonte de forçantes térmicos e hidrológicos (impermeabilização, ilhas de calor); os corredores fluviais como vetores de transmissão e modulação (infraestrutura verde natural); e o reservatório como sistema receptor e acumulador de impactos (qualidade da água e sedimentos).

Proposta técnica em síntese

- **Rede terrestre:** 13 data loggers Tinytag TGP-4017/4500 distribuídos em quatro níveis funcionais – urbano, transição urbano–rural, corredores fluviais e entorno do reservatório.
- **Apoio meteorológico:** 2 estações automáticas (uma instalada em ambiente urbano; a segunda prevista para o entorno do reservatório).
- **Monitoramento aquático:** 2 HOBO Water Temperature Pro v2 U22-001 instalados em pontos contrastantes da barragem.
- **Termografia aérea:** campanhas sazonais de imagens termográficas por UAV em áreas urbanas críticas.
- **Horizonte temporal:** monitoramento contínuo por ciclos anuais completos.
- **Produtos:** mapas da ilha de calor urbana, gradientes térmicos ao longo dos rios, indicadores microclimáticos do entorno do reservatório, imagens térmicas recolhidas por UAV, relatórios técnicos periódicos.

Valor para políticas públicas

O Living Lab fornece indicadores operacionais para orientar o Plano Diretor e políticas de adaptação climática; priorizar infraestrutura verde urbana e proteção de zonas ripárias (APPs); apoiar a gestão do reservatório e a vigilância de períodos críticos para a qualidade da água; e reforçar a articulação intersetorial entre meio ambiente, planejamento urbano, educação e recursos hídricos.

Componente educacional e governança participativa

O projeto integra um eixo educacional estruturante: uso pedagógico dos dados do Living Lab (projetos interdisciplinares, dissertações de mestrado e doutorado, trabalhos de campo,

aprendizagem baseada em problemas); formação continuada de professores em leitura territorial e uso didático de dados ambientais; e ações de educação não formal e ciência cidadã. Esse eixo amplia a apropriação social do conhecimento e reforça a sustentabilidade institucional do projeto ao longo de ciclos políticos.

Roadmap em quatro fases

- **Fase 1 (0–6 meses):** preparação institucional, governança intersetorial, aquisição de equipamentos, escolas-piloto.
- **Fase 2 (6–18 meses):** instalação da rede, início do monitoramento, primeira campanha de termografia UAV, projetos pedagógicos-piloto.
- **Fase 3 (18–36 meses):** consolidação dos indicadores, integração em políticas públicas, institucionalização do Living Lab.
- **Fase 4 (36+ meses):** escalonamento, replicabilidade intermunicipal, redes de cooperação e financiamento estrutural.

Riscos e mitigação

Riscos: descontinuidade política, limitações orçamentárias, manutenção dos sensores, baixa apropriação social.

Mitigação: institucionalização formal, integração ao orçamento municipal, protocolos de manutenção, comunicação pública e educação territorial.

Recomendações prioritárias

- Institucionalizar o Living Lab em instrumentos de política municipal.
- Priorizar corredores fluviais como infraestruturas verdes estratégicas.
- Integrar critérios topoclimáticos e microclimáticos no planejamento urbano.
- Articular gestão do reservatório com ordenamento da bacia contribuinte.
- Consolidar o eixo educacional como política pública transversal.

01 Enquadramento e Justificativa

A proposta de um Living Lab Ambiental para o município de Feira Nova, no agreste de Pernambuco, responde a uma necessidade concreta da gestão pública local: dotar o território de uma infraestrutura de observação contínua, capaz de subsidiar diagnósticos, decisões e ações de adaptação climática em um quadro de vulnerabilidade hídrica e estresse térmico característicos do semiárido nordestino. O território de Feira Nova oferece uma configuração funcional particularmente legível: uma cidade de baixa verticalização – com predominância de edificações térreas e de até um pavimento – implantada em um mosaico agropastoril típico do agreste, conectada hidrologicamente a três cursos d’água – o Riacho Cachoeira, o Rio Cotunguba e o Rio Capibaribe – que drenam para o reservatório localizado a Norte/Nordeste, convergindo para este enquanto sistema receptor.

Essa organização espacial torna Feira Nova um caso particularmente adequado para uma abordagem experimental baseada em gradientes (urbano–rural–ripario–lacustre) e em relações causais verificáveis ao longo do tempo. A pequena escala do município – território compacto, sede urbana definida e bacia contribuinte legível – confere ao Living Lab a vantagem estratégica de operar como um laboratório vivo em escala municipal, com possibilidade real de replicação para outros municípios do agreste pernambucano e do semiárido nordestino.

1.1. O reservatório como infraestrutura crítica do agreste pernambucano

O reservatório constitui um elemento estruturante da segurança hídrica local e regional, sustentando múltiplos usos: abastecimento humano, atividades agropecuárias e funções ecológicas. No agreste pernambucano, onde a disponibilidade de água superficial é episódica e fortemente sazonal, esses sistemas de armazenamento são frequentemente o único garante do abastecimento populacional em períodos críticos de estiagem prolongada. Sua condição de “sistema acumulador”, no entanto, implica que alterações a montante – associadas ao uso e ocupação do solo ou resultantes de lançamentos de efluentes e práticas antrópicas – possam traduzir-se em degradação progressiva da qualidade da água e dos sedimentos.

Nesse contexto, Vieira (2025) identifica pressões relevantes sobre o sistema, apontando alterações nos parâmetros de condutividade elétrica e turbidez da água e indicando que os sedimentos apresentam, para determinados elementos, níveis de contaminação que demandam atenção e medidas de mitigação, com destaque para o Mercúrio (Hg) e o Chumbo (Pb). Esses resultados reforçam a necessidade de uma abordagem territorial que vá além da caracterização pontual e avance para um modelo de monitoramento contínuo, capaz de captar dinâmicas sazonais e respostas a eventos extremos.

1.2. A cidade como polo de forçantes térmicos e hidrológicos

Em territórios semiáridos, a variabilidade hidrológica e climática tende a intensificar os riscos associados à qualidade da água. A alternância entre longos períodos de estiagem e episódios de precipitação intensa favorece processos como (i) concentração de sais e solutos, refletida na condutividade elétrica; (ii) aumento do transporte de partículas em eventos de enxurrada, traduzido em incrementos da turbidez; e (iii) mobilização e remobilização de contaminantes sedimentares em função de mudanças no regime térmico e hidrodinâmico.

A esses fatores soma-se o papel da cidade como geradora de forçantes térmicos e hidrológicos, decorrentes da impermeabilização do solo, do aquecimento das superfícies urbanas e da alteração dos padrões locais de ventilação e umidade. Mesmo em contextos de baixa verticalização, a combinação de materiais construtivos de elevada inércia térmica — telhas cerâmicas, lajes de concreto, pavimentos asfálticos e intertravados — com a pavimentação extensa do solo e a cobertura vegetal urbana reduzida pode induzir ilhas de calor locais e produzir escoamentos superficiais mais quentes, com potencial de amplificar impactos nos corredores fluviais que conduzem ao reservatório.

O Living Lab Ambiental não é apenas uma rede de sensores: é um dispositivo de tradução entre ciência aplicada e decisão pública, capaz de transformar dados em evidência para a gestão territorial.

1.3. Objetivos do Living Lab

O objetivo central deste projeto é, portanto, estabelecer as bases técnicas para a implementação de um Living Lab Ambiental que atenda a dois propósitos complementares. Em primeiro lugar, produzir conhecimento empírico contínuo que permita compreender padrões espaciais e temporais do topoclima e do microclima e sua relação com os corredores fluviais e o reservatório. Em segundo lugar, disponibilizar à gestão pública local — prefeitura e órgãos ambientais — um instrumento operacional de apoio à tomada de decisão, capaz de subsidiar políticas públicas em três domínios principais:

- **Planejamento urbano e mitigação climática** — infraestrutura verde, redução da impermeabilização, identificação de materiais urbanos com elevada acumulação térmica e criação de “ilhas de frescor” orientadas ao aumento da resiliência microclimática do território;
- **Gestão de bacias hidrográficas e proteção de áreas ripárias** — faixas de proteção, contenção de processos erosivos e redução de cargas difusas que afluem ao reservatório;
- **Educação ambiental e governança participativa** — articulação entre escolas, comunidade e órgãos públicos na construção de uma cultura de letramento territorial orientada à sustentabilidade.

A partir desta introdução, o livro desenvolve, em capítulos sucessivos: (i) a caracterização do território e da rede hidrográfica; (ii) o problema ambiental com base em evidências científicas disponíveis; (iii) o enquadramento conceitual do Living Lab e sua figura-chave; (iv) o desenho metodológico da rede de monitoramento, compreendendo 2 estações meteorológicas automáticas, 13 data loggers de temperatura do ar e umidade relativa, 2 data loggers aquáticos submersíveis e campanhas de termografia aérea por UAV; e (v) um conjunto de recomendações e um roadmap de implementação que permita à gestão municipal evoluir, de forma progressiva, para um sistema integrado de monitoramento e gestão da qualidade ambiental.

02 Caracterização do Território

2.1. Feira Nova no agreste pernambucano

O município de Feira Nova insere-se no agreste de Pernambuco, em zona de transição entre o litoral úmido e o sertão semiárido. Esse posicionamento confere ao território uma identidade climática e cultural específica: o agreste é o domínio do sítio, da pequena propriedade familiar, das feiras tradicionais — entre as quais a feira semanal que dá nome ao município — e de uma economia rural diversificada, marcada pela coexistência de pastagens, lavouras de subsistência e pequena pecuária leiteira. Essa matriz socioterritorial atravessa a própria estrutura do município, definindo padrões de ocupação, uso do solo, fluxos econômicos e relações cotidianas com os recursos hídricos.

Do ponto de vista climático, o território insere-se em um contexto semiárido, marcado por elevada variabilidade intra- e interanual das condições atmosféricas, com longos períodos de estiagem intercalados por episódios de precipitação concentrada. Esse regime condiciona de forma decisiva os processos hidrológicos e geomorfológicos, potencializando fenômenos de escoamento superficial rápido, erosão localizada e transporte episódico de sedimentos e poluentes ao longo da rede de drenagem. A disponibilidade hídrica apresenta forte dependência de infraestruturas de armazenamento, assumindo o reservatório um papel central na regulação do sistema.

2.2. Morfotopografia, hidrografia e organização da drenagem

Do ponto de vista morfotopográfico, a leitura da carta hipsométrica e das ortofotos evidencia um território com gradientes altimétricos moderados (0–253 m), estruturado por um conjunto de vales relativamente encaixados e interflúvios que organizam a drenagem em direção ao setor Norte/Nordeste. A rede hidrográfica apresenta um padrão dendrítico, com três eixos principais — Riacho Cachoeira, Rio Cotunguba e Rio Capibaribe — que desempenham papel fundamental na conectividade hidrológica entre a cidade e o reservatório. Esses cursos d'água funcionam simultaneamente como corredores ecológicos e hidrológicos e como vetores potenciais de transporte de cargas difusas — sedimentos, nutrientes e contaminantes — provenientes tanto da matriz rural envolvente quanto do espaço urbano.



Figura 1 – Localização e contextualização territorial de Feira Nova (PE)

Mapa de localização do município de Feira Nova no estado de Pernambuco e na região Nordeste do Brasil, com sobreposição da hipsometria, ocupação do solo, rede rodoviária principal e identificação dos corpos d'água. Sistema de coordenadas: SIRGAS 2000. Fontes: Esri, IDE-MS, IBGE, PE3D e OpenStreetMap.



Figura 2 – Vista ortofotográfica do território de Feira Nova

Ortofoto de alta resolução do território municipal, evidenciando a mancha urbana, a matriz rural envolvente e a configuração dos vales e interflúvios que estruturam a rede hidrográfica em direção ao setor Norte/Nordeste. Fontes: Esri, IDE-MS, IBGE, PE3D e OpenStreetMap.

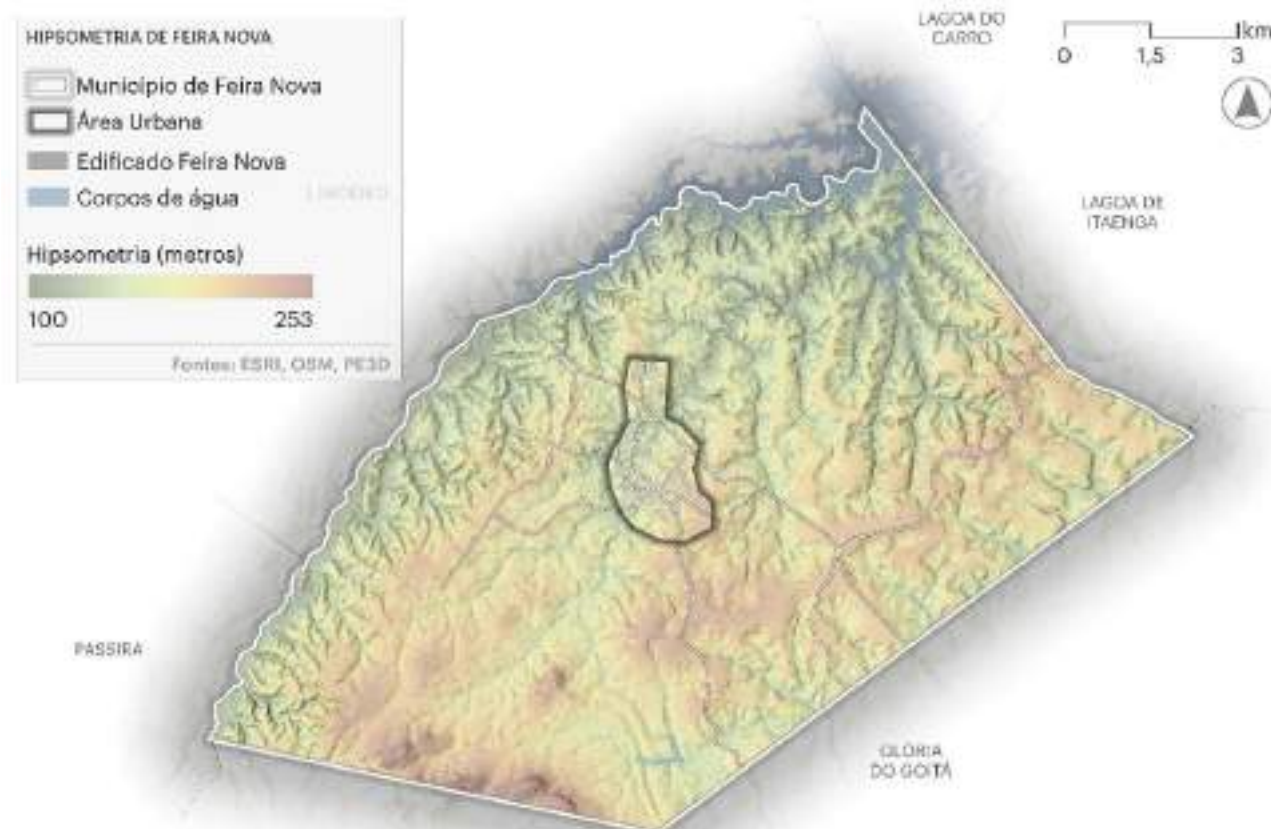


Figura 3 – Hipsometria do território de Feira Nova

Carta hipsométrica do território (0–253 m), com a área urbana destacada em contorno preto. A representação evidencia os gradientes altimétricos moderados e a organização dos vales convergentes para o reservatório a Norte/Nordeste. Fontes: PE3D, ESRI.

A estrutura do relevo, com vales relativamente bem definidos, influencia ainda os padrões microclimáticos locais, criando contrastes térmicos e higrométricos entre fundos de vale, encostas e interflúvios. Em contextos semiáridos, essas diferenças topográficas frequentemente se traduzem em microambientes com capacidades diferenciadas de retenção de umidade e de amortecimento térmico, particularmente nas zonas ripárias.

2.3. Conectividade hidrológica entre cidade e reservatório

Os três cursos d'água – Riacho Cachoeira, Rio Cotunguba e Rio Capibaribe – constituem os principais eixos de drenagem do território, assegurando a ligação funcional entre a área urbana e o reservatório localizado a Norte/Nordeste. Essa configuração reforça a leitura do sistema territorial como uma cadeia hidrológica contínua, na qual os impactos gerados a montante tendem a manifestar-se de forma acumulativa a jusante, no sistema lacustre.

A análise espacial indica que esses corredores fluviais atravessam áreas com diferentes graus de antropização – desde trechos mais rurais, com maior presença de vegetação natural ou seminatural, até segmentos mais próximos da mancha urbana, onde se observam alterações no uso e ocupação do solo e, em alguns casos, ocupação irregular das margens. Os corredores fluviais assumem, assim, uma dupla função no modelo conceitual do Living Lab: por um lado, como vetores de transporte hidrológico; por outro, como unidades de modulação microclimática, cuja capacidade de atenuação térmica depende fortemente da presença, continuidade e qualidade da vegetação ripária.

2.4. Estrutura urbana, materiais construtivos e padrões de uso do solo

A cidade apresenta uma morfologia de baixa verticalização, dominada por edificações térreas e de até um pavimento, com uma malha relativamente compacta no núcleo central e expansões periféricas de menor densidade ao longo de eixos viários. Apesar da ausência de verticalização significativa, a análise de imagens de alta resolução evidencia uma proporção relevante de superfícies impermeáveis – vias, calçadas, pátios pavimentados e coberturas – associada a uma cobertura vegetal urbana limitada e fragmentada.

Estimativa preliminar para o núcleo urbano de Feira Nova: \approx 60–70% de superfícies impermeáveis (vias, calçadas, coberturas) e menos de 15% de cobertura arbórea efetiva nas áreas centrais. Esses valores deverão ser confirmados pela cartografia detalhada produzida pelo Living Lab.



Figura 4 – Estrutura urbana e padrões de ocupação do solo em Feira Nova

Detalhe ortofotográfico do núcleo urbano e seu entorno imediato, evidenciando a malha compacta central, as expansões periféricas em torno dos eixos viários, a fragmentação da cobertura vegetal urbana e o mosaico rural circundante. Fonte: PE3D.

O entorno rural imediato é caracterizado por um mosaico de usos do solo que inclui áreas agrícolas, pastoris e manchas de vegetação natural ou seminatural, típicas do agreste semiárido. Os dados da Coleção 9 do MapBiomias (2024) indicam, para Feira Nova, a predominância da pastagem como classe dominante na matriz rural, seguida por agricultura e mosaico de usos, com participação significativamente menor da formação florestal. Essa configuração gera forte heterogeneidade espacial nas propriedades biofísicas da superfície – albedo, capacidade de retenção de umidade,

rugosidade aerodinâmica – refletindo-se em contrastes microclimáticos relevantes entre a mancha urbana, as zonas de transição urbano–rural e os corredores ripários.

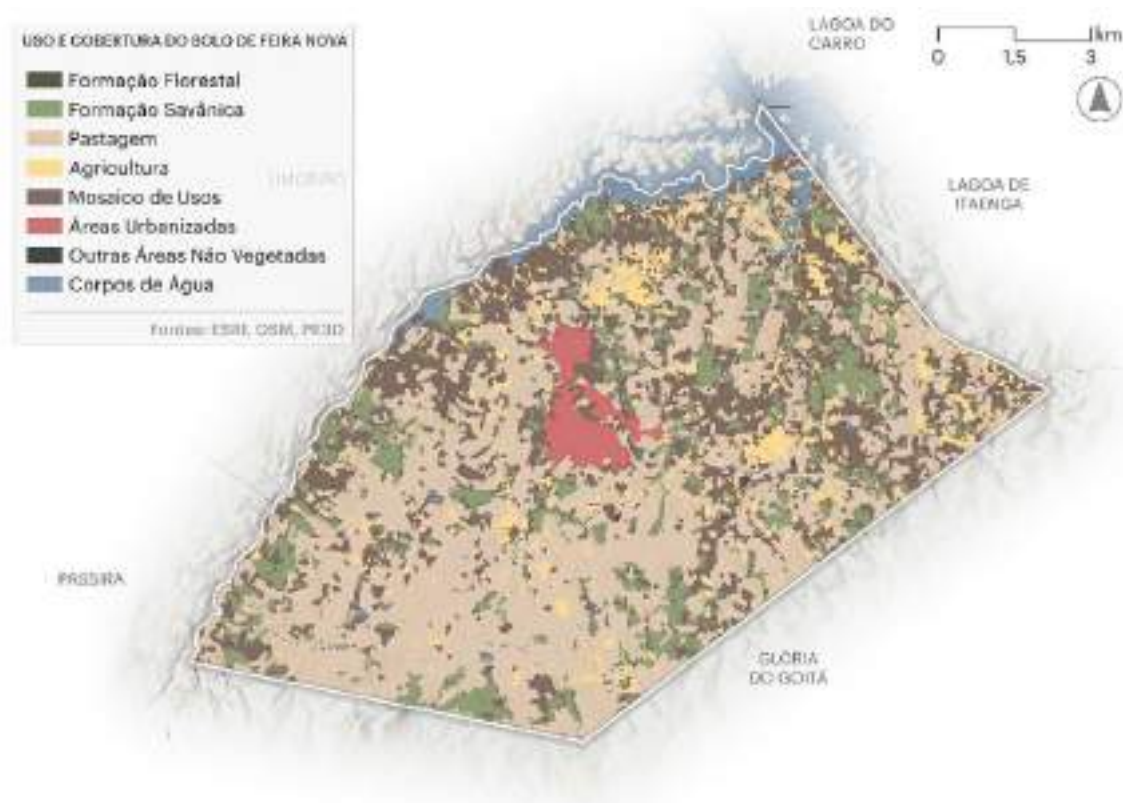


Figura 5 – Uso e cobertura do solo do município de Feira Nova

Mapa de uso e cobertura do solo classificando o território em formação florestal, formação savânica, pastagem, agricultura, mosaico de usos, área urbanizada, outras áreas não vegetadas e corpos d'água. Evidencia a predominância de pastagem e agricultura na matriz rural e o reduzido peso relativo da formação florestal. Fontes: MapBiomias (Coleção 9), ESRI.

2.5. Implicações territoriais para o desenho do Living Lab

A caracterização físico-territorial evidencia três aspectos estruturantes para o desenho metodológico do Living Lab. Primeiro, a orientação funcional da drenagem para Norte/Nordeste justifica a organização da rede de monitoramento segundo um eixo cidade–corredores fluviais–reservatório, assegurando a leitura dos processos de transmissão de impactos ao longo da bacia contribuinte. Segundo, a heterogeneidade topográfica e de uso do solo cria um conjunto de microambientes contrastantes – urbano denso, transição urbano–rural, vales ripários e entorno do reservatório – que devem ser representados na rede de sensores. Terceiro, o contexto semiárido associado à baixa verticalização evidencia que os processos de aquecimento superficial não dependem exclusivamente da densidade construtiva em altura, mas resultam sobretudo da combinação entre impermeabilização do solo, materiais urbanos de elevada inércia térmica e ausência ou fragmentação da infraestrutura verde.

03 Problema Ambiental: Qualidade da Água do Reservatório

3.1. O reservatório como sistema receptor e acumulador

O reservatório constitui o elemento terminal do sistema hidrológico em análise, funcionando simultaneamente como infraestrutura estratégica de armazenamento hídrico e como sistema receptor e acumulador dos impactos gerados a montante. Em bacias de pequena e média dimensão, sobretudo em contextos semiáridos, a concentração espacial e temporal dos escoamentos potencializa a transferência rápida de cargas provenientes da matriz urbana e rural para o sistema lacustre.

A natureza acumulativa do sistema implica que processos aparentemente difusos ou episódicos – como a erosão de encostas agrícolas, a lavagem de superfícies impermeáveis urbanas durante eventos de chuva intensa ou lançamentos pontuais de efluentes – se traduzam, no médio e longo prazos, em alterações mensuráveis nos parâmetros físico-químicos da água e na composição dos sedimentos. Em regimes hidrológicos intermitentes, essa vulnerabilidade é ampliada pela alternância entre períodos prolongados de estagnação da lâmina d'água e episódios de afluência concentrada.

3.2. Evidências disponíveis sobre a qualidade da água e dos sedimentos

A problemática encontra suporte empírico nos resultados apresentados por Vieira de Albuquerque (2025), cuja investigação evidencia alterações em parâmetros físico-químicos da água – com destaque para a condutividade elétrica e a turbidez –, sugerindo pressões associadas à contribuição de efluentes e à dinâmica de transporte de sólidos ao longo da rede hidrográfica. Para além da coluna d'água, a análise dos sedimentos revela uma dimensão adicional de risco ambiental: foram identificadas concentrações de metais potencialmente tóxicos que, em determinados pontos, ultrapassam valores de referência, com particular incidência de Mercúrio (Hg) e Chumbo (Pb).

A presença desses contaminantes nos sedimentos é especialmente relevante do ponto de vista da gestão ambiental: os sedimentos funcionam como uma “memória ecológica” do sistema, integrando ao longo do tempo os efeitos de pressões cumulativas. Mesmo quando os parâmetros da água apresentam variações temporais e podem pontualmente situar-se dentro de faixas consideradas aceitáveis segundo a Resolução CONAMA n.º 357/2005, os sedimentos mantêm o registro histórico das cargas acumuladas, com potencial para remobilização em função de alterações no regime hidrodinâmico, flutuações do nível do reservatório ou mudanças térmicas sazonais.

Esse mecanismo é particularmente sensível em períodos de estiagem prolongada seguidos de eventos de precipitação intensa, típicos de climas semiáridos, nos quais a ressuspensão de partículas finas pode liberar contaminantes para a coluna d'água, comprometendo a qualidade do recurso hídrico em momentos críticos para o abastecimento.

Os sedimentos do reservatório constituem uma memória ecológica do território: registram cumulativamente as pressões urbanas, agroindustriais e rurais e podem liberar contaminantes em condições específicas de temperatura e hidrodinâmica.

3.3. Pressões difusas a montante

A degradação da qualidade da água deve ser compreendida à luz de um conjunto de pressões territoriais difusas e cumulativas que atuam ao longo da bacia contribuinte. Entre as principais, destacam-se:

- **Impermeabilização urbana.** Aumenta o volume e a velocidade do escoamento superficial, favorecendo o transporte de partículas, nutrientes e poluentes associados ao material particulado urbano.
- **Práticas agrícolas e pastoris em encostas.** Potencializam processos de erosão hídrica e carreamento de sedimentos, sobretudo em áreas com solos expostos ou manejo inadequado.
- **Degradação das áreas ripárias.** A supressão ou fragmentação da vegetação ciliar reduz a capacidade natural de filtração de poluentes, retenção de sedimentos e amortecimento térmico dos cursos d'água.

A cidade, apesar de sua baixa verticalização, constitui um polo relevante de pressão difusa. Em contextos semiáridos, nos quais a lâmina d'água pode apresentar volumes reduzidos ao longo de parte do ano, as influências térmicas e hidrológicas adquirem maior relevância relativa, potencializando processos de aquecimento superficial, aumento da evaporação e alterações na solubilidade e mobilidade de determinados compostos químicos.

3.4. Justificativa para uma abordagem integrada

A leitura integrada do problema evidencia que a qualidade da água do reservatório não pode ser interpretada apenas como resultado de cargas pontuais ou de variáveis estritamente hidrológicas. Pelo contrário, ela emerge da interação entre dinâmicas territoriais (uso e ocupação do solo), processos microclimáticos (temperatura do ar, umidade relativa, ilhas de calor locais) e respostas hidrodinâmicas do sistema lacustre.

Essa interdependência justifica a adoção de um enquadramento metodológico que articule o monitoramento microclimático contínuo com a análise dos corredores fluviais e do sistema receptor final. O Living Lab Ambiental proposto neste livro constitui uma resposta inovadora ao permitir observar, de forma sistemática e ao longo de um ciclo anual completo, os gradientes térmicos e higrométricos entre a cidade, as zonas de transição e os corredores fluviais, relacionando-os com períodos críticos para a qualidade da água do reservatório.

3.5. Programa complementar de monitoramento da qualidade da água

Propõe-se a implementação de um programa de monitoramento contínuo da qualidade da água ao longo de doze meses, utilizando uma sonda multiparamétrica submersível equipada com data logger interno, configurada para registrar dados em intervalos de 30 minutos. Os parâmetros monitorados continuamente incluirão temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e oxigênio dissolvido. Em complemento, serão realizadas campanhas mensais de amostragem em quatro pontos georreferenciados da barragem, para análises laboratoriais de nitrato, nitrito, fósforo total, sólidos suspensos totais e indicadores microbiológicos. Essa estratégia permitirá integrar dados de alta frequência temporal com a caracterização sazonal e espacial da massa d'água.



Figura 6 – O reservatório como sistema receptor e acumulador

04 Enquadramento Conceitual: Living Lab Ambiental

4.1. O Living Lab como pesquisa-ação territorial

O conceito de Living Lab tem sido progressivamente apropriado no campo da sustentabilidade territorial e ambiental como dispositivo de pesquisa-ação em contexto real, no qual a produção de conhecimento científico se articula com a experimentação no território e com a participação de atores locais – em particular as escolas e a comunidade (Chronéer, Ståhlbröst & Habibipour, 2019; ENoLL, 2020; Voytenko et al., 2016). Em Portugal, experiências como o Laboratório Ambiental Urbano da Figueira da Foz (Marques, Ganho & Cordeiro, 2012) demonstraram o potencial dessa abordagem para a leitura microclimática integrada de territórios urbanos.

Diferentemente de modelos clássicos de monitoramento ambiental, frequentemente baseados em campanhas pontuais e em dispositivos técnicos isolados, o Living Lab caracteriza-se por (i) continuidade temporal da observação; (ii) ancoragem espacial em contextos reais de uso, conflito e intervenção; e (iii) articulação entre ciência, políticas públicas e comunidade. Neste livro, o Living Lab Ambiental é concebido como uma infraestrutura leve de monitoramento topoclimático e microclimático, orientada à compreensão dos processos que conectam o espaço urbano, os corredores fluviais e o reservatório.

4.2. Modelo conceitual Cidade–Rios–Reservatório

O enquadramento conceitual do Living Lab estrutura-se a partir de um modelo em cadeia funcional que articula três subsistemas territoriais interdependentes.

(i) Sistema urbano – fonte de forçantes ambientais

A cidade, apesar da baixa verticalização, é polo gerador de forçantes térmicos e hidrológicos associados à impermeabilização do solo, à alteração do balanço energético superficial e à fragmentação da cobertura vegetal. Esses processos favorecem ilhas de calor locais, modificam o regime de umidade relativa e condicionam o escoamento superficial, potencializando respostas hidrológicas rápidas durante eventos de precipitação intensa (Oke, 1982; Oke et al., 2017).

(ii) Corredores fluviais – vetores de transmissão e modulação

Riacho Cachoeira, Rio Cotunguba e Rio Capibaribe atuam como eixos de conectividade hidrológica e ecológica entre a cidade e o reservatório. Esses corredores desempenham função dual: por um lado, vetores de transporte de água, sedimentos e cargas difusas; por outro, unidades

de modulação microclimática, cuja capacidade de amortecer extremos térmicos e higrométricos depende fortemente da presença, continuidade e qualidade da vegetação ripária. Estudos de revisão sistemática (Bowler et al., 2010) confirmam que a continuidade da cobertura vegetal ripária é uma das variáveis que melhor explicam a capacidade de resfriamento local em ambientes urbanos.

(iii) Sistema lacustre – reservatório como receptor e acumulador

O reservatório materializa, de forma acumulativa, os impactos provenientes da bacia contribuinte. Sua dinâmica térmica e hidrodinâmica condiciona processos de qualidade da água: estratificação térmica, evaporação, permanência de sólidos em suspensão e remobilização de contaminantes sedimentares. Em contextos semiáridos, a vulnerabilidade do sistema é reforçada pela forte variabilidade sazonal do volume armazenado e pela ocorrência de períodos prolongados de estagnação (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008).



Figura 7 – Modelo conceitual Cidade–Rios–Reservatório

Esquema síntese do modelo conceitual que organiza a leitura do território em três subsistemas funcionais: a cidade como fonte de forçantes (fluxos térmico, hidrológico e sedimentar), os corredores fluviais como vetores de transmissão e modulação, e o reservatório (barragem) como sistema receptor e acumulador de impactos. As setas representam a transferência cumulativa de energia e matéria ao longo do gradiente.

4.3. Arquitetura conceitual: níveis de observação

Com base no modelo, o Living Lab é organizado segundo quatro níveis funcionais de observação:

- **Nível urbano** – caracterização da ilha de calor local e da heterogeneidade intraurbana;
- **Nível de transição urbano–rural** – gradientes térmicos e higrométricos entre a mancha urbana e a matriz produtiva envolvente;
- **Nível fluvial/ripário** – monitoramento dos corredores de drenagem enquanto vetores de transmissão e espaços de modulação microclimática;
- **Nível do reservatório** – avaliação das condições microclimáticas na interface ar–água do sistema receptor.

Essa arquitetura permite captar processos encadeados no espaço, oferecendo leitura integrada dos gradientes ambientais. A observação contínua ao longo de um ciclo anual completo possibilita ainda analisar processos encadeados no tempo: ciclos diurnos, variações sazonais e respostas a eventos extremos.

4.4. Hipóteses estruturantes

O enquadramento conceitual baseia-se em três hipóteses de trabalho que orientam a coleta, a análise e a interpretação dos dados:

- H1.** A intensidade dos forçantes térmicos urbanos influencia, de forma mensurável, os regimes térmicos e higrométricos dos corredores fluviais a jusante da área urbana.
- H2.** Corredores fluviais com maior continuidade de vegetação ripária apresentam maior capacidade de amortecimento microclimático, reduzindo a amplitude térmica e contribuindo para maior estabilidade hidrológica local.
- H3.** Períodos prolongados de temperaturas elevadas e baixa umidade relativa no entorno do reservatório potencializam condições favoráveis à degradação da qualidade da água, especialmente quando combinados com pulsos de escoamento superficial provenientes da bacia contribuinte.

4.5. O esquema conceitual como instrumento de comunicação

O esquema conceitual Cidade–Rios–Reservatório desempenha função que vai além da síntese teórica. Como instrumento de comunicação científica, explicita a lógica de encadeamento dos processos ambientais e a arquitetura do dispositivo de monitoramento. Como instrumento de comunicação política, facilita o diálogo com gestores e decisores, traduzindo relações complexas em uma narrativa visual clara, inteligível e operacionalizável no âmbito da gestão ambiental e do planejamento territorial.

05 Metodologia: Arquitetura do Living Lab e Rede de Monitoramento

5.1. Princípios metodológicos gerais

O desenho metodológico do Living Lab Ambiental baseia-se em uma abordagem de monitoramento contínuo em contexto real, orientada à captação de gradientes microclimáticos e à leitura integrada das relações entre cidade, corredores fluviais e reservatório. Essa opção responde a três princípios estruturantes:

- **Representatividade territorial.** Os principais contextos biofísicos e de uso e ocupação do solo devem estar contemplados na rede de monitoramento.
- **Continuidade temporal.** A operação ininterrupta ao longo de doze meses permite captar ciclos diurnos, variações sazonais e respostas a eventos extremos.
- **Comparabilidade espacial.** O dispositivo deve possibilitar a análise sistemática de contrastes entre ambientes urbanos, de transição urbano–rural, ripários e lacustres.

O monitoramento contínuo por um período mínimo de doze meses permite superar limitações associadas a campanhas pontuais, frequentemente incapazes de representar a dinâmica sazonal típica do semiárido nordestino. A rede de sensores constitui, assim, a espinha dorsal empírica do Living Lab, fornecendo séries temporais robustas para análise microclimática e para a articulação com dados hidrológicos e de qualidade da água.

5.2. Quadro síntese da rede de monitoramento

A rede de monitoramento do Living Lab integra cinco subsistemas complementares, organizados segundo princípios de complementaridade espacial e temporal. O quadro abaixo resume o conjunto de equipamentos, variáveis monitoradas, frequência de aquisição e escala de análise associada a cada componente.

Quadro 1 – Componentes da rede de monitoramento, variáveis e escalas

Componente	Equipamento	Variáveis	Frequência	Escala
Estações meteorológicas (2)	Estação automática completa	Ta, UR, P, vento, radiação solar, pressão	10 min	Regional / urbana
Data loggers de Ta (subset)	Tinytag TGP-4017	Temperatura do ar	15 min	Microclimática
Data loggers Ta + UR (13 unidades)	Tinytag TGP-4500	Temperatura e umidade relativa do ar	15 min	Microclimática

Componente	Equipamento	Variáveis	Frequência	Escala
Loggers aquáticos (2)	HOBO Water Temp Pro v2 U22-001	Temperatura da água	15–30 min	Reservatório
Termografia UAV	UAV com câmara termográfica	Temperatura superficial (LST)	Campanhas sazonais	Sub-urbana
Qualidade da água (sonda)	Sonda multiparamétrica submersível	T, pH, CE, turbidez, OD	30 min + campanhas mensais	Reservatório

Legenda: **Ta** – temperatura do ar; **UR** – umidade relativa; **P** – precipitação; **CE** – condutividade elétrica; **OD** – oxigênio dissolvido; **LST** – Land Surface Temperature.

5.3. Arquitetura da rede terrestre (13 data loggers)

A componente terrestre da rede é composta por 13 data loggers de temperatura do ar e umidade relativa, distribuídos segundo quatro níveis funcionais, coerentes com o modelo conceitual Cidade–Rios–Reservatório:

(i) Nível urbano – 5 pontos

Instalados no interior da mancha urbana, abrangendo o núcleo central mais denso, bairros periféricos, zonas de transição urbano–rural imediata, áreas com maior cobertura vegetal urbana e eixos viários com superfícies fortemente impermeabilizadas. Esse conjunto permite caracterizar a ilha de calor urbana local e a heterogeneidade intraurbana.

Modelo	Temperatura	Humidade Relativa	Faixa de Medição
A TGP-4017	✓	–	-40 °C a +85 °C
B TGP-4500	✓	✓	-25 °C a +85 °C / 0 a 100% RH

Mede apenas a temperatura interna do ar
Faixa de medição: -40 °C a +85 °C

Mede a temperatura interna do ar e a humidade relativa
Faixa de medição: -25 °C a +85 °C / 0 a 100% RH

Ambos os equipamentos possuem grau de proteção IP68, memória interna e são adequados para monitoramento contínuo em campo.

Figura 8 – Data loggers utilizados na rede de monitoramento terrestre

Especificação dos data loggers Tinytag selecionados para o Living Lab: equipamento A – TGP-4017 – realiza medições de temperatura do ar (faixa -40 °C a +85 °C); equipamento B – TGP-4500 – efetua medições integradas de temperatura e umidade relativa (Ta: -25 °C a +85 °C; UR: 0–100%). Ambos possuem grau de proteção IP68, memória interna e são adequados ao monitoramento contínuo em campo. A combinação dos dois modelos permite analisar gradientes térmicos e higrométricos em diferentes superfícies e contextos territoriais.

(ii) Nível fluvial/ripario – 6 pontos

Distribuídos ao longo dos três principais cursos d'água, com pontos a montante e a jusante da influência urbana sempre que possível. Essa configuração permite isolar o efeito urbano nos corredores fluviais e analisar a capacidade de modulação microclimática associada à presença ou ausência de vegetação ripária.

(iii) Nível da bacia contribuinte – 2 pontos

Instalados em áreas contrastantes de uso do solo no entorno rural – encostas agrícolas/pastoris versus áreas com maior cobertura vegetal – para captar diferenças microclimáticas associadas à matriz produtiva e ao estado de conservação do coberto vegetal.

(iv) Nível do reservatório – 2 pontos

Localizados no entorno imediato do plano de água, em contextos contrastantes (margem exposta versus margem com vegetação), permitindo caracterizar as condições microclimáticas na interface ar-água.

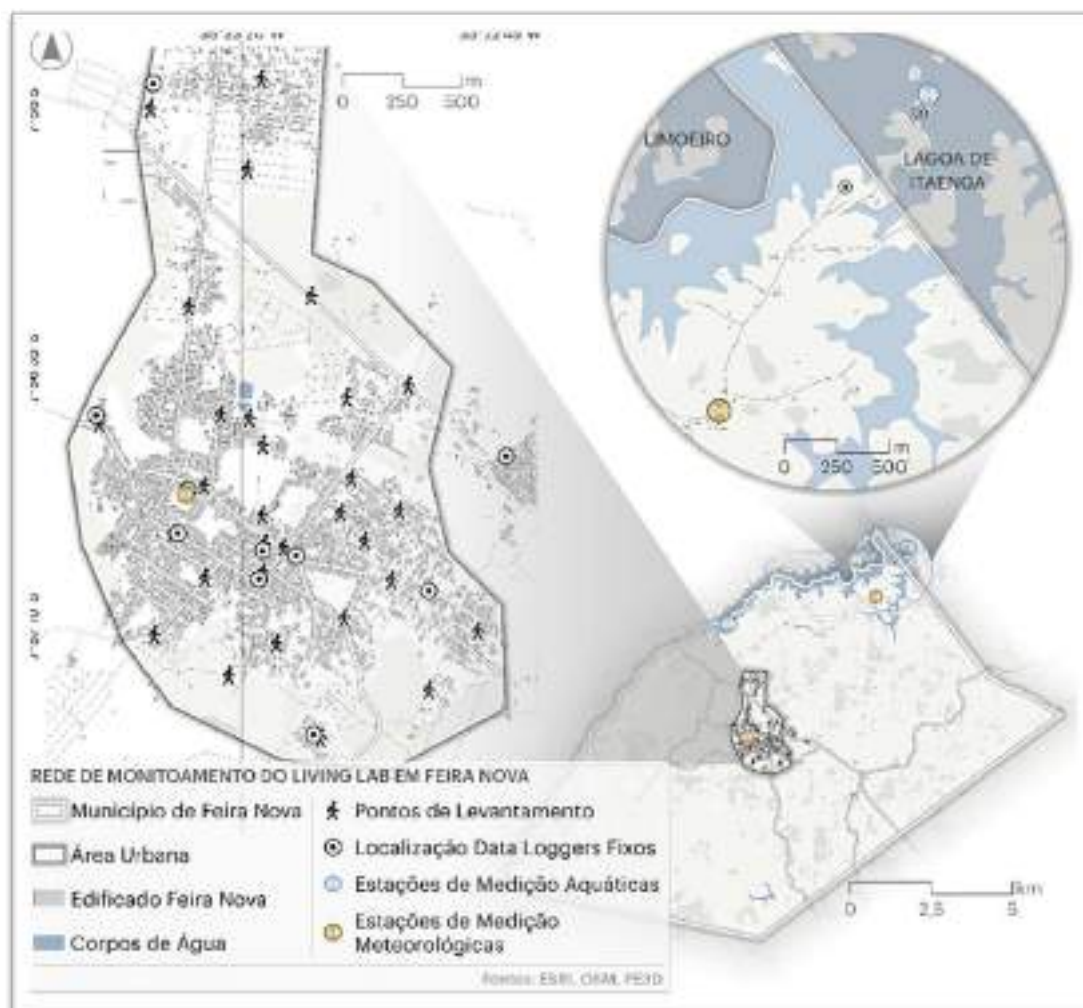


Figura 9 – Espacialização da rede de monitoramento em Feira Nova

Representação espacial da rede de monitoramento ambiental implantada em Feira Nova, integrando estações meteorológicas (símbolo creme), estações aquáticas no reservatório (símbolo azul), pontos fixos de medição (amarelo) e pontos móveis de medição (vermelho), distribuídos ao longo da área urbana e dos corredores fluviais. O detalhe à direita mostra a distribuição intraurbana de pontos móveis e fixos. A organização multiescalar da rede captura a variabilidade topo- e microclimática e os gradientes térmicos, hidrológicos e ambientais entre cidade, drenagem fluvial e reservatório. Fonte: Esri, IDE-MS, IBGE, OpenStreetMap. Sistema de coordenadas: SIRGAS 2000.

5.4. Variáveis monitoradas e configuração dos sensores

Os data loggers registram, como variáveis mínimas, a temperatura do ar (T_a) e a umidade relativa (UR), parâmetros centrais para a caracterização do microclima e para análises de conforto térmico, evaporação potencial e modulação ripária. A frequência de registro é fixada em intervalos de 15 minutos, valor que assegura simultaneamente a leitura fina de ciclos diurnos e a autonomia operacional dos dispositivos. Sempre que possível, os dados serão articulados com informações complementares das estações meteorológicas regionais (precipitação, vento, radiação solar) e com campanhas pontuais de qualidade da água.

5.5. Protocolo de instalação e controle de qualidade

A instalação dos sensores segue critérios padronizados para garantir a comparabilidade espacial dos dados e minimizar vieses de medição. Os data loggers são posicionados, sempre que possível, a uma altura aproximada de 2,0 m acima do solo, protegidos por abrigos contra radiação direta e instalados em locais representativos do contexto ambiental a caracterizar. Evitam-se proximidades imediatas de superfícies altamente refletoras ou de fontes artificiais de calor, quando compatível com os objetivos de representação dos ambientes urbanos reais. É implementado um protocolo de verificação periódica dos dispositivos (mensal ou bimestral), incluindo inspeção física, checagem do funcionamento e validação da continuidade das séries temporais. A gestão dos dados contempla procedimentos de controle de qualidade, com identificação de valores anômalos, falhas de registro e eventuais perturbações pontuais.

5.6. Estações meteorológicas automáticas

Além da rede de 13 data loggers, o Living Lab incorpora duas estações meteorológicas automáticas, concebidas como pontos de referência para a calibração e contextualização das séries microclimáticas. Essas estações registram um conjunto mais amplo de variáveis – precipitação, velocidade e direção do vento, radiação solar e pressão atmosférica – fornecendo o enquadramento meteorológico regional necessário para interpretar as variações microclimáticas observadas. A primeira estação encontra-se já instalada no setor urbano; a segunda será instalada, na Fase 2, no setor próximo ao reservatório, em posição estratégica para registrar as condições meteorológicas na interface entre o sistema lacustre e a paisagem rural envolvente.



Figura 10 – Estação meteorológica urbana de Feira Nova.

5.7. Monitoramento térmico aquático da barragem

Complementando a rede terrestre, o Living Lab incorpora um sistema específico de monitoramento térmico contínuo da barragem, baseado na instalação de dois data loggers aquáticos submersíveis modelo HOBO Water Temperature Pro v2 U22-001. Essa componente amplia a capacidade analítica do projeto ao permitir observar, de forma contínua e em alta resolução temporal, a dinâmica térmica do sistema lacustre enquanto componente receptora do modelo Cidade–Rios–Reservatório.

A temperatura da água é variável central para a compreensão do funcionamento ecológico e hidrodinâmico de reservatórios em contexto semiárido. Em sistemas sujeitos a forte sazonalidade climática, elevada radiação solar e longos períodos de estiagem, pequenas variações térmicas podem influenciar processos relevantes para a qualidade da água: evaporação, concentração de sais e solutos, estratificação térmica, disponibilidade de oxigênio dissolvido e dinâmica de remobilização sedimentar. O monitoramento contínuo dessas variações permite produzir uma leitura mais integrada das interações entre clima, hidrologia e qualidade ambiental do reservatório.

Os sensores serão instalados em dois pontos representativos da barragem, em contextos contrastantes do ponto de vista ambiental e microclimático – por exemplo, setores mais expostos à radiação solar direta e áreas parcialmente influenciadas por vegetação ripária ou por aportes fluviais. Os dispositivos operarão de forma contínua, com registros em intervalos regulares de 15 a 30 minutos, assegurando elevada resolução temporal para a identificação de ciclos térmicos diurnos, variações sazonais, respostas a ondas de calor, efeitos de episódios de precipitação intensa e períodos críticos de aquecimento superficial da água. Além da sua dimensão técnico-científica, os data loggers aquáticos cumprem também uma função pedagógica e demonstrativa: a visualização contínua das variações térmicas da água poderá ser integrada em atividades educativas, projetos escolares e ações de ciência cidadã.

5.8. Termografia aérea por UAV: leitura fina do território

A incorporação de imagens térmicas de alta resolução obtidas por veículos aéreos não tripulados (UAV) representa uma oportunidade estratégica para compreender, em escala fina, os padrões espaciais de aquecimento superficial associados à morfologia urbana, à cobertura vegetal e às propriedades térmicas dos diferentes materiais presentes no território. Tal abordagem permite ultrapassar leituras generalistas do clima urbano, identificando microcontrastes térmicos frequentemente invisíveis em análises convencionais baseadas apenas em dados meteorológicos pontuais. Estudos recentes (Cordeiro et al., 2023a, 2023b; Ornelas, Cordeiro & Lameiras, 2023; Cordeiro & Lameiras, 2026) demonstram que diferenças superiores a 20 °C podem ocorrer em curtas distâncias, particularmente entre superfícies impermeabilizadas expostas à radiação solar direta e áreas vegetadas ou sombreadas.

A aplicação desta metodologia ao contexto semiárido de Feira Nova assume particular relevância, dada a elevada exposição solar, a reduzida disponibilidade hídrica sazonal e a predominância de materiais urbanos com forte capacidade de absorção e armazenamento térmico. A heterogeneidade dos materiais presentes nas superfícies urbanas – asfaltos, concretos, telhados cerâmicos, pavimentos intertravados, solos expostos e coberturas metálicas – condiciona diretamente os fluxos de calor sensível e a intensidade do aquecimento superficial, influenciando o conforto térmico da população e a organização microclimática local.

A termografia aérea permitirá, em síntese: identificar hotspots térmicos urbanos; reconhecer superfícies com elevada acumulação de calor; mapear áreas prioritárias para arborização; avaliar a eficiência microclimática de corredores verdes; analisar o comportamento térmico diferenciado dos materiais urbanos; e apoiar estratégias de mitigação climática baseadas em infraestrutura verde.

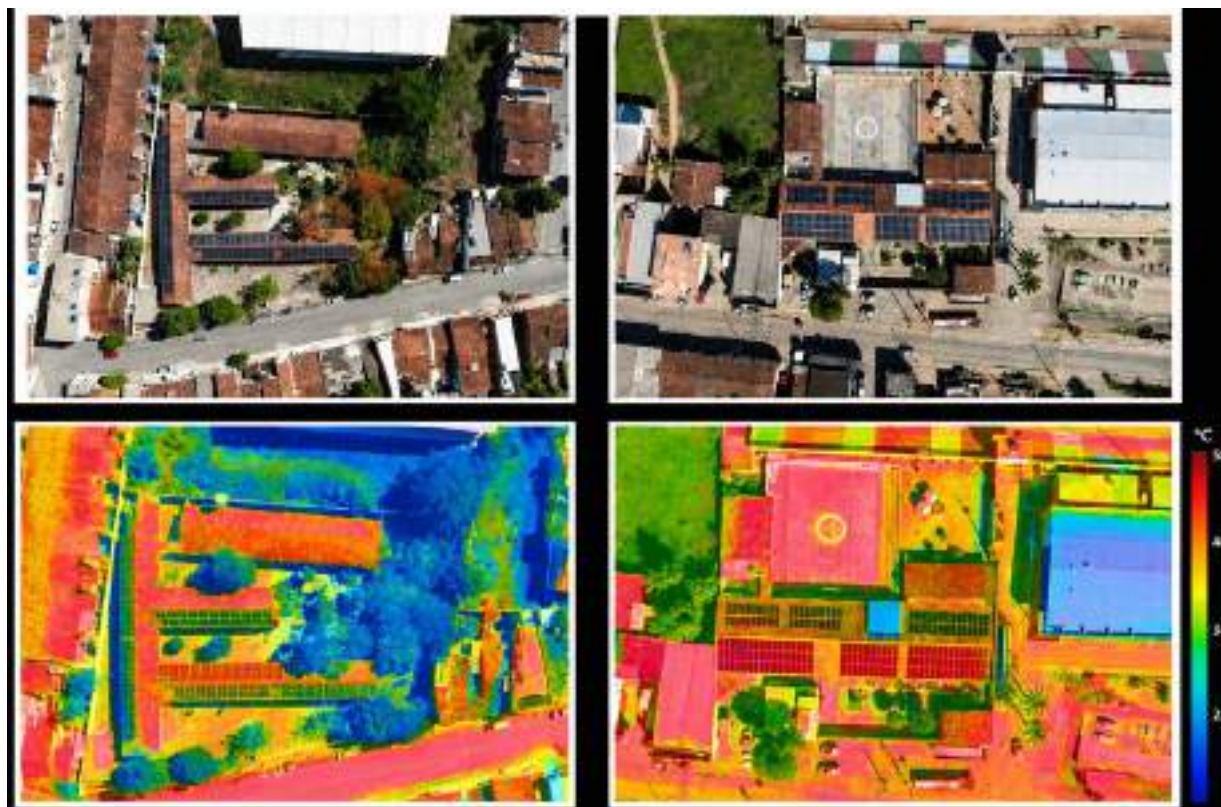


Figura 11 – Contrastes térmicos e influência da arborização no microclima urbano

Imagens aéreas convencionais (em cima) e termográficas (em baixo) obtidas em Feira Nova por UAV, em áreas escolares contrastantes. As imagens demonstram diferenças significativas de temperatura superficial entre setores arborizados – onde os valores observados se situam entre ≈ 28 e 35 °C – e áreas fortemente impermeabilizadas, com temperaturas superficiais entre ≈ 49 e 56 °C, revelando o papel da vegetação na modulação microclimática do ambiente urbano. Escala térmica representada à direita (°C). Aquisição em período de máxima insolação diurna. Voo a baixa altitude; processamento radiométrico em câmara FLIR.

A arborização urbana assume aqui papel central. A presença de copas arbóreas produz efeitos combinados de sombreamento, evapotranspiração e modulação dos fluxos radiativos, reduzindo significativamente a temperatura das superfícies e atenuando o acoplamento térmico entre superfície e atmosfera. A análise termográfica permitirá ainda compreender o papel das propriedades físico-radiativas dos materiais urbanos – albedo, emissividade, capacidade térmica e condutividade – na formação de ilhas de calor locais. Materiais de baixa refletância e elevada inércia térmica tendem a acumular e liberar calor de forma mais intensa, contribuindo para a persistência do aquecimento superficial mesmo após o pico de radiação solar.

A integração da termografia UAV no Living Lab reforça também a dimensão pedagógica e participativa do projeto, tornando visíveis processos térmicos frequentemente abstratos para a população e favorecendo ações de educação ambiental, letramento climático e governança territorial baseada em evidências (Cordeiro, Fialho, Coelho & Lameiras, 2025).

5.9. Estratégia de análise e integração dos dados

Os dados coletados são tratados com vistas à produção de indicadores microclimáticos relevantes: amplitudes térmicas diurnas e sazonais; intensidade relativa da ilha de calor urbana; contrastes térmicos e higrométricos entre trechos fluviais com diferentes estados de conservação da vegetação ripária; padrões microclimáticos no entorno do reservatório em diferentes épocas do ano. A análise é orientada para a identificação de períodos críticos – ondas de calor, eventos de precipitação intensa – e para a exploração de relações entre padrões microclimáticos e processos relevantes para a qualidade da água.



Figura 12 – Arquitetura operacional do Living Lab: do sensor à decisão pública

Esquema síntese da arquitetura operacional do Living Lab Ambiental, organizada em quatro blocos funcionais interdependentes: rede de sensores (data loggers terrestres e aquáticos, estações meteorológicas, sondas multiparamétricas, termografia UAV); base de dados (organização e validação de séries temporais); análise (visualização, construção de indicadores, identificação de hotspots, leitura de gradientes); e decisão pública (tradução em políticas de planejamento urbano, gestão de bacias, proteção ripária e educação ambiental).

A representação evidencia o fluxo ascendente de informação — da observação territorial à produção de conhecimento operacional.

A integração das duas estações meteorológicas com a rede de 13 data loggers terrestres, os 2 data loggers aquáticos e as campanhas de termografia UAV permite construir um sistema hierarquizado de observação ambiental, no qual dados meteorológicos de referência se articulam com medições microclimáticas e térmicas de alta resolução espacial. Esse arranjo reforça a robustez científica do Living Lab e amplia sua capacidade de apoiar análises integradas entre microclima, dinâmica hidrológica e qualidade da água do reservatório.

06 Resultados Esperados e Tipos de Análise

6.1. Tipologia de resultados

A implementação do Living Lab Ambiental permitirá produzir um conjunto estruturado de resultados, organizados em quatro categorias.

(i) Resultados descritivos e diagnósticos

Caracterização de base dos regimes microclimáticos nos diferentes contextos territoriais – perfis térmicos diurnos e sazonais; padrões de umidade relativa e sua variabilidade espacial; identificação de hotspots térmicos e de áreas de amortecimento microclimático. Esses resultados constituem o diagnóstico de referência do microclima local, fundamental para subsidiar estratégias futuras de adaptação climática em escala municipal.

(ii) Resultados analíticos e comparativos

Comparação sistemática entre ambientes urbanos densamente impermeabilizados e zonas de transição urbano–rural; trechos fluviais com diferentes estados de conservação da vegetação ripária; margens do reservatório com e sem cobertura vegetal. Esse tipo de análise permite quantificar a intensidade relativa da ilha de calor urbana, a eficácia ecológica dos corredores ripários como infraestruturas verdes naturais e o papel do reservatório como modulador térmico local.

(iii) Resultados interpretativos e causais

Exploração de relações entre picos térmicos urbanos e variações térmicas nos corredores fluviais a jusante; episódios de precipitação intensa e respostas microclimáticas rápidas (resfriamento pontual seguido de aquecimento acelerado); e períodos prolongados de calor e baixa umidade relativa no entorno do reservatório, potencialmente favoráveis à degradação da qualidade da água.

(iv) Resultados aplicados para políticas públicas

Indicadores operacionais e produtos de síntese – mapas temáticos, quadros analíticos e relatórios técnicos – diretamente utilizáveis pela gestão municipal para subsidiar decisões de planejamento urbano, gestão de áreas verdes, proteção ripária e gestão dos recursos hídricos.

6.2. Tipos de análise previstos

a) Análise temporal

- Ciclos diurnos (amplitude térmica dia/noite);
- Padrões sazonais (período seco versus período chuvoso);
- Detecção de eventos extremos e respectivas respostas microclimáticas.

b) Análise espacial – gradientes territoriais

- Mapeamento da intensidade da ilha de calor urbana;
- Comparação de gradientes térmicos e higrométricos ao longo do eixo cidade → rios → reservatório;
- Identificação de áreas de amortecimento microclimático.

c) Análise comparativa entre contextos

- Áreas urbanas impermeabilizadas vs. áreas vegetadas;
- Encostas agrícolas/pastoris vs. vegetação natural ou seminatural;
- Margens do reservatório expostas vs. margens sombreadas.

d) Análise integrada microclima–hidrologia–qualidade da água

Quando articulada com dados de precipitação e com campanhas de qualidade da água, essa análise permite explorar relações entre padrões microclimáticos e processos hidrológicos: períodos de maior risco de aquecimento superficial; janelas temporais de maior vulnerabilidade à concentração de solutos; e condições propícias à remobilização de sedimentos.

6.3. Produtos cartográficos e indicadores

- Mapas da ilha de calor urbana, identificando áreas prioritárias para infraestrutura verde;
- Mapas de gradientes térmicos ao longo dos corredores fluviais;
- Indicadores sintéticos de conforto térmico para espaços urbanos e periurbanos;
- Perfis microclimáticos do entorno do reservatório, úteis para identificação de períodos críticos.

Esses produtos podem ser integrados a Sistemas de Informações Geográficas (SIG) municipais, contribuindo para a construção de uma base de dados territorial com valor cumulativo ao longo do tempo.

6.4. Valor agregado para a gestão pública local

A principal mais-valia dos resultados reside na capacidade de transformar dados microclimáticos em informação acionável para políticas públicas, com aplicação direta em quatro frentes: suporte à definição de prioridades de intervenção em áreas vulneráveis ao calor; fundamentação técnica para a proteção e requalificação de corredores ripários; apoio à gestão do reservatório e à vigilância de períodos críticos para a qualidade da água; e criação de uma base empírica para programas de educação ambiental e engajamento comunitário.

07 Implicações para Políticas Municipais

7.1. Planejamento urbano e mitigação climática

Os resultados do Living Lab fornecem base empírica robusta para a incorporação da dimensão microclimática nos instrumentos de planejamento urbano municipal – em especial o Plano Diretor e políticas locais de desenvolvimento urbano sustentável. A identificação de hotspots térmicos permite orientar políticas de mitigação da ilha de calor urbana, mesmo em cidades de baixa verticalização. Entre as principais implicações:

- **Fortalecimento da infraestrutura verde urbana** – criação, ampliação e qualificação de parques, praças arborizadas, corredores verdes e áreas de lazer com sombreamento, com prioridade para bairros mais vulneráveis ao calor.
- **Promoção de Soluções Baseadas na Natureza (NBS)** – arborização viária com espécies adaptadas ao agreste, implantação de sombreamento natural em espaços públicos, incentivo a pavimentos permeáveis e ampliação da cobertura vegetal (EU Commission, 2020; IUCN, 2020). Veja a figura 13.
- **Integração de critérios microclimáticos na legislação urbanística** – uso de materiais de maior refletância térmica, soluções de drenagem urbana sustentável e estratégias de desenho que favoreçam a ventilação natural.
- **Requalificação de espaços urbanos estratégicos** (escolas, unidades de saúde, equipamentos esportivos, praças) como “ilhas de frescor”, potencializando benefícios para conforto térmico, saúde pública, permanência no espaço público e coesão social.

7.2. Proteção de corredores fluviais e gestão da bacia hidrográfica

Os corredores fluviais emergem como infraestruturas verdes estratégicas para a regulação microclimática e para a proteção da qualidade da água do reservatório. As implicações para as políticas municipais incluem:

- Proteção e recuperação das faixas de vegetação ciliar (APPs), conforme o Código Florestal Brasileiro (Lei n.º 12.651/2012);
- Controle da ocupação e da impermeabilização em áreas de vale e margens fluviais;

- Integração formal dos corredores fluviais na estrutura ecológica municipal como eixos prioritários de conectividade ecológica e regulação climática;
- Articulação com a gestão da bacia hidrográfica – práticas conservacionistas em áreas agrícolas a montante (terraceamento, cobertura do solo, manejo conservacionista).



Figura 13 – Soluções Baseadas na Natureza (NBS) para o território de Feira Nova

Síntese visual das três famílias principais de NBS adaptadas ao contexto semiárido do agreste pernambucano: arborização urbana (sombreamento e refrescamento de vias e calçadas com espécies do bioma local), corredores verdes (conectividade ecológica e amortecimento térmico ao longo dos eixos viários e fluviais) e renaturalização de margens fluviais (recuperação da função ripária, retenção de sedimentos e filtragem de cargas difusas).

7.3. Gestão do reservatório e segurança hídrica

- Identificação de períodos microclimaticamente críticos para o reforço do monitoramento da qualidade da água;
- Integração da informação microclimática nos planos de gestão do reservatório;
- Valorização do entorno do reservatório como espaço de regulação climática local;
- Articulação entre gestão do reservatório e ordenamento territorial.

7.4. Quadro econômico das NBS: ordem de grandeza dos custos e benefícios

A literatura internacional sobre infraestrutura verde e adaptação climática converge em destacar a favorabilidade da relação custo–benefício das NBS em médio prazo, sobretudo quando consideradas externalidades não-mercantis (Bowler et al., 2010; European Commission, 2020). O quadro abaixo apresenta uma síntese qualitativa, calibrada para o contexto de Feira Nova:

Quadro 2 – Síntese qualitativa de custo–benefício de NBS para Feira Nova

Intervenção NBS	Custo relativo	Horizonte de retorno	Cobenefícios prioritários
Arborização viária	Baixo–médio	Curto–médio (2–5 anos)	Sombreamento, redução térmica, qualidade do ar, valorização imobiliária
Praças e ilhas de frescor	Médio	Médio (3–7 anos)	Conforto térmico, saúde pública, coesão social, eventos comunitários
Renaturalização de margens	Médio–alto	Médio–longo (5–10 anos)	Redução de sedimentos, qualidade da água, biodiversidade, controle de erosão
Pavimentos permeáveis	Médio–alto	Médio (5–8 anos)	Drenagem, redução de enxurradas, redução de temperatura superficial
Corredores verdes	Alto (investimento inicial)	Longo (8–15 anos)	Conectividade ecológica, mobilidade ativa, regulação climática regional

Esses valores devem ser entendidos como referenciais qualitativos; a sua tradução em valores monetários precisos exigirá estudos econômicos específicos a desenvolver pela gestão municipal, eventualmente em articulação com universidades parceiras e instituições de fomento.

7.5. Educação ambiental, participação social e governança territorial

Além das dimensões técnicas de planejamento e gestão ambiental, o Living Lab apresenta elevado potencial como plataforma de educação ambiental e participação social. A disponibilização de dados, mapas e interpretações acessíveis possibilita:

- Fortalecer a literacia climática e hídrica da comunidade;
- Envolver escolas, universidades e organizações locais em processos de ciência cidadã;
- Apoiar processos de governança colaborativa entre gestores, técnicos, pesquisadores e sociedade civil;
- Criar instrumentos de comunicação territorial – campanhas de sensibilização, educação ambiental e legitimação social de políticas públicas.

7.6. Integração nos instrumentos de política municipal

A institucionalização do Living Lab como plataforma de monitoramento contínuo permite ao município dispor de indicadores ambientais próprios, atualizados e territorialmente contextualizados; fundamentar decisões com base em evidências empíricas locais, reduzindo a dependência de dados genéricos ou extrapolações regionais; e reforçar a coerência entre políticas de ordenamento territorial, adaptação climática e gestão de recursos hídricos.



Figura 14 – Estrutura sistêmica do Living Lab de Feira Nova

Esquema integrado do Living Lab de Feira Nova como território-piloto de inovação, sustentabilidade e co-criação. Articula quatro eixos: governança e parcerias (município, empresas, academia, comunidade); sustentabilidade ambiental (energia, água, biodiversidade, economia circular); inovação e tecnologia; e impactos (ambientais, sociais e econômicos), sustentados por infraestruturas e dados abertos.

08 Implicações Educacionais e Ação Educativa Territorial

8.1. Educação como pilar da sustentabilidade territorial

A consolidação do Living Lab Ambiental enquanto instrumento de apoio à gestão territorial pressupõe o reforço de uma componente educacional estruturada, capaz de articular produção de conhecimento científico, formação cidadã e transformação de práticas socioambientais. A educação assume, neste enquadramento, papel estratégico na construção de uma cultura territorial orientada para a sustentabilidade, funcionando como mediadora entre evidência científica, políticas públicas e práticas cotidianas da população (Carvalho, 2017; Loureiro, 2012; Vieira, Cordeiro & Freire, 2025).

A leitura integrada dos resultados do Living Lab evidencia que os desafios associados à qualidade da água do reservatório, à proteção dos corredores fluviais e à mitigação dos efeitos microclimáticos urbanos não podem ser enfrentados exclusivamente por via normativa ou infraestrutural. A eficácia das políticas municipais depende, em larga medida, da apropriação social dos objetivos de sustentabilidade, o que reforça a necessidade de investir em processos educativos contínuos, formais e não formais.

Sem apropriação social, qualquer rede de sensores se torna apenas um arquivo técnico. A educação é o que transforma o monitoramento em consciência ambiental coletiva.

8.2. Integração do Living Lab no currículo escolar

Os dados e produtos gerados pelo Living Lab – séries microclimáticas, mapas de gradientes térmicos, imagens termográficas, indicadores ambientais – constituem recursos pedagógicos de elevado valor didático, passíveis de integração transversal no currículo da educação básica e do ensino médio, em consonância com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e com os currículos estaduais e municipais.

- Desenvolvimento de projetos interdisciplinares em Geografia, Ciências/Biologia, Física e Matemática;
- Promoção de aprendizagem baseada em problemas (Problem-Based Learning), ancorada em questões concretas do território;

- Utilização de trabalhos de campo e percursos interpretativos nos corredores fluviais e no entorno do reservatório;
- Produção de materiais didáticos territoriais (cartilhas, mapas simplificados, infográficos) elaborados por estudantes e professores.

8.3. Formação continuada de professores e inovação pedagógica

A operacionalização da componente educacional requer investimento sistemático em formação continuada de professores. O Living Lab pode funcionar como plataforma de capacitação técnico-pedagógica, espaço de co-criação pedagógica e interface entre universidade, escolas e gestão municipal, promovendo transferência de conhecimento científico e fortalecimento de redes locais de inovação educativa (Cordeiro, Fialho, Coelho & Lameiras, 2025).

8.4. Educação não formal, ciência cidadã e envolvimento comunitário

Para além da escola, o Living Lab oferece condições para o desenvolvimento de ações de educação não formal e ciência cidadã, ampliando o alcance social do projeto (Bonney et al., 2009):

- Programas de monitoramento participativo envolvendo estudantes, associações comunitárias e moradores ribeirinhos;
- Eventos públicos de devolutiva dos resultados, traduzindo informação técnica em linguagem acessível;
- Feiras de ciência territorial e mostras ambientais articulando escolas, universidades, poder público e sociedade civil;
- Campanhas educativas sobre água, saneamento, proteção ripária e mitigação dos efeitos do calor urbano.

8.5. Articulação com a Agenda 2030

A componente educacional reforça a convergência com a Agenda 2030, em particular os ODS 4 (Educação de Qualidade), ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima). Essa articulação permite alinhar projetos pedagógicos escolares às prioridades ambientais do território, reforçar a coerência intersetorial e promover uma abordagem integrada de desenvolvimento territorial sustentável.

8.6. Síntese estratégica

Em termos estratégicos, a educação é o vetor de transversalidade do Living Lab Ambiental, garantindo que o monitoramento microclimático e a produção de dados não se esgotem em relatórios técnicos, mas se traduzam em processos duradouros de aprendizagem social, apropriação territorial do conhecimento e transformação de práticas. A integração entre ciência aplicada, políticas públicas e ação educativa constitui um dos principais fatores de sustentabilidade institucional e territorial do projeto.

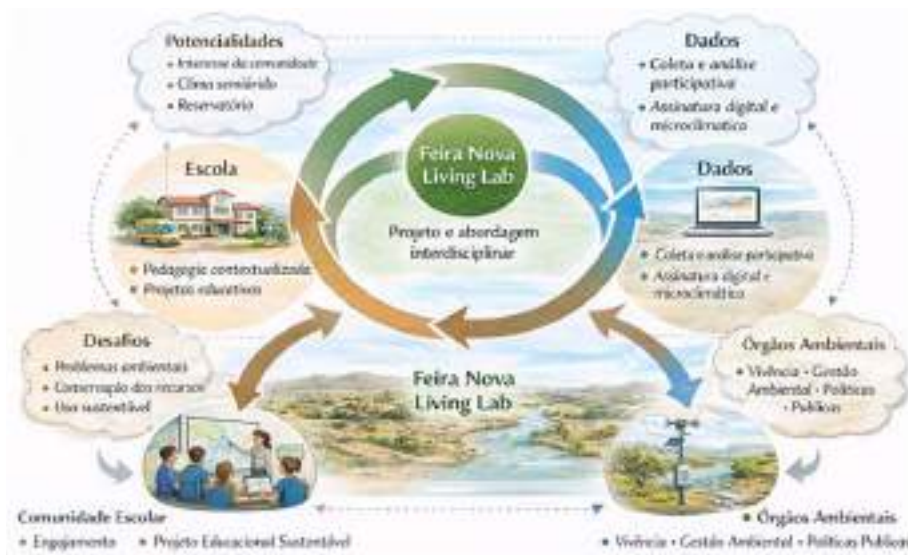


Figura 15 – O Living Lab como sistema educativo

Esquema que representa o Living Lab de Feira Nova enquanto ecossistema educativo. Articula a escola (pedagogia contextualizada e projetos educativos), a comunidade escolar (engajamento e projetos sustentáveis), os órgãos ambientais (vivência, gestão e políticas públicas) e os dados (coleta participativa, assinatura digital e microclimática), em torno de um eixo comum de projeto e abordagem interdisciplinar.

09 Roadmap de Implementação

9.1. Princípios orientadores

O roadmap estrutura-se como um plano faseado, progressivo e adaptativo, concebido para ser operacionalizável no curto e médio prazos pela gestão municipal, em articulação com instituições de ensino, universidades e atores comunitários. O desenho assenta em quatro princípios:

- **Progressividade operacional** – implementação por etapas, com ganhos incrementais de capacidade técnica e institucional.
- **Integração intersetorial** – articulação entre secretarias municipais e parceiros científicos.
- **Territorialização das ações** – ancoragem das medidas nos contextos urbanos, fluviais e lacustres monitorados.
- **Aprendizagem institucional contínua** – incorporação sistemática de feedback dos dados na revisão de políticas e práticas.

9.2. Fase 1 – Preparação institucional (0–6 meses)

Objetivo: criar as condições institucionais, técnicas e pedagógicas mínimas para a implementação do Living Lab.

Eixo técnico-científico

- Definição formal da arquitetura da rede (localização dos 13 data loggers, 2 loggers aquáticos e 2 estações meteorológicas);
- Aquisição de equipamentos (Tinytag TGP-4017/4500, HOB0 Water Temp Pro v2 U22-001, abrigos, sistemas de armazenamento);
- Elaboração dos protocolos técnicos de instalação, manutenção e gestão de dados.

Eixo político-institucional

- Formalização de um arranjo de governança intersetorial;
- Enquadramento do Living Lab nos instrumentos de política municipal;
- Definição de responsabilidades institucionais e fluxos de decisão.

Eixo educacional

- Identificação de escolas-piloto e docentes interessados;
- Planejamento das primeiras ações de formação continuada de professores.

Produtos: documento de governança; mapa final da rede; plano de ação intersetorial.

9.3. Fase 2 – Implementação piloto (6–18 meses)

Objetivo: operacionalizar a rede e iniciar a produção sistemática de dados.

Eixo técnico-científico

- Instalação dos data loggers nos quatro níveis funcionais e dos loggers aquáticos no reservatório;
- Instalação da segunda estação meteorológica no entorno do reservatório;
- Primeira campanha de termografia UAV em períodos contrastantes (seco e chuvoso);
- Início da coleta contínua de dados e validação das séries temporais.

Eixo político-institucional

- Painel técnico de acompanhamento para análise periódica dos resultados;
- Incorporação inicial dos dados em relatórios técnicos municipais.

Eixo educacional

- Projetos pedagógicos-piloto em escolas selecionadas;
- Oficinas de formação continuada para professores;
- Primeiros eventos públicos de devolutiva à comunidade.

Produtos: base inicial de dados; relatórios preliminares; projetos pedagógicos implementados.

9.4. Fase 3 – Consolidação e integração em políticas públicas (18–36 meses)

Objetivo: consolidar o Living Lab como instrumento regular de apoio à decisão.

Eixo técnico-científico

- Análise consolidada do primeiro ciclo anual completo;
- Produção de mapas temáticos e indicadores microclimáticos operacionais;
- Articulação dos dados com campanhas de qualidade da água.

Eixo político-institucional

- Integração formal dos indicadores nos processos de revisão do Plano Diretor;
- Institucionalização do Living Lab como plataforma permanente municipal;
- Priorização territorial de investimentos em infraestrutura verde e proteção ripária.

Eixo educacional

- Ampliação da integração curricular para outras escolas e níveis;
- Institucionalização de programas de educação ambiental territorializados.

Produtos: indicadores incorporados em instrumentos de planejamento; relatórios de avaliação; consolidação educacional.

9.5. Fase 4 – Escalonamento (36+ meses)

Objetivo: ampliar a escala de atuação do Living Lab e promover sua replicação.

- Disseminação metodológica para outros municípios da bacia;
- Criação de redes intermunicipais de monitoramento e educação ambiental;
- Captação de recursos externos para expansão da infraestrutura;
- Articulação com redes nacionais e internacionais de Living Labs ambientais.

9.6. Indicadores de sucesso e mecanismos de avaliação

- Grau de cobertura territorial da rede de monitoramento;
- Continuidade e qualidade das séries de dados microclimáticos;
- Número de políticas municipais que incorporam indicadores do Living Lab;
- Número de escolas e professores envolvidos em projetos pedagógicos;
- Participação comunitária em ações de ciência cidadã e educação ambiental.

10 Limitações, Riscos e Desafios

10.1. Limitações técnicas e operacionais

A implementação de uma rede contínua de monitoramento em contexto real envolve um conjunto de limitações técnicas que devem ser explicitadas para uma leitura realista do alcance e da robustez dos resultados produzidos pelo Living Lab.

- **Cobertura espacial finita** – apesar da distribuição estratégica dos 13 data loggers, a rede não captura a totalidade da heterogeneidade microclimática do território.
- **Restrições instrumentais** – os data loggers apresentam limites de precisão e resolução temporal, podendo ocorrer desvios pontuais em condições ambientais extremas.
- **Dependência de manutenção periódica** – falhas de energia, vandalismo, deslocamento de sensores ou degradação dos abrigos podem comprometer a continuidade das séries.
- **Integração limitada com outras variáveis** – o foco no microclima exige articulação complementar com dados hidrológicos, de qualidade da água e de uso do solo.

10.2. Riscos institucionais e de governança

- **Descontinuidade administrativa** – mudanças de governo local podem comprometer a continuidade do financiamento e da utilização dos resultados.
- **Fragmentação intersetorial** – falta de articulação entre secretarias pode reduzir o potencial integrador do Living Lab.
- **Baixa institucionalização** – quando o Living Lab permanece como iniciativa pontual, aumenta o risco de esvaziamento operacional.
- **Dependência excessiva de parcerias externas** – a ausência de capacitação interna pode fragilizar a autonomia institucional do município.

10.3. Desafios financeiros e de sustentabilidade econômica

- Financiamento da aquisição e reposição de equipamentos;
- Custos de manutenção e operação;
- Limitações orçamentárias municipais;
- Dependência de financiamentos externos descontínuos.

A sustentabilidade financeira exige estratégias de diversificação, integração nos orçamentos plurianuais municipais e, quando possível, articulação com programas estaduais e federais de adaptação climática.

10.4. Desafios socioterritoriais e de apropriação social

- Baixa literacia ambiental e climática em segmentos da população;
- Resistências locais a mudanças de práticas no uso do solo;
- Desigualdades socioespaciais na distribuição dos benefícios das intervenções;
- Dificuldades de engajamento continuado da comunidade.

10.5. Limitações analíticas e riscos de interpretação

- **Atribuição causal simplificada** – a tentação de estabelecer relações diretas sem considerar a complexidade dos processos intermediários.
- **Generalização indevida** – extrapolação de padrões locais para outros contextos sem validação empírica.
- **Subestimação de fatores externos** – variabilidade climática interanual, eventos extremos raros, mudanças abruptas no uso do solo.
- **Dependência excessiva de indicadores sintéticos** – que podem ocultar dinâmicas locais relevantes quando não acompanhados de análises detalhadas.

10.6. Síntese crítica

Apesar das limitações, o Living Lab deve ser entendido como um dispositivo de aprendizagem institucional e territorial. A explicitação desses constrangimentos não fragiliza o projeto; pelo contrário, contribui para seu amadurecimento ao permitir antecipar obstáculos, desenhar estratégias de mitigação desde as fases iniciais e consolidar uma cultura de monitoramento crítico, reflexivo e adaptativo no âmbito da gestão ambiental local.

11 Conclusões e Recomendações Estratégicas

11.1. Conclusões principais

Este livro demonstra a pertinência do Living Lab Ambiental Cidade–Rios–Reservatório como dispositivo integrado de produção de conhecimento aplicado, apoio à decisão pública e ação educativa territorial em contexto semiárido. A articulação entre monitoramento microclimático contínuo, leitura territorial dos corredores fluviais e análise do reservatório enquanto sistema receptor permite construir uma narrativa causal territorializada dos impactos ambientais, superando abordagens setoriais fragmentadas. As conclusões centrais sintetizam-se em cinco pontos estruturantes.

1. O microclima como variável estratégica de governança ambiental

Os gradientes térmicos e higrométricos observáveis entre a cidade, os corredores fluviais e o entorno do reservatório constituem eixo analítico fundamental para compreender processos de degradação ambiental e vulnerabilidade hídrica. Mesmo em contextos urbanos de baixa verticalização, a impermeabilização do solo e a fragmentação da infraestrutura verde geram forçantes térmicos relevantes.

2. Corredores fluviais como infraestruturas verdes críticas

Os cursos d'água e suas zonas ripárias emergem como elementos-chave de modulação microclimática, conectividade ecológica e proteção da qualidade da água. Sua proteção e requalificação devem ser entendidas como investimentos estruturais em adaptação climática e segurança hídrica.

3. O reservatório como indicador integrado de pressões territoriais

Enquanto sistema receptor e acumulador, o reservatório materializa, de forma concentrada, os efeitos cumulativos das dinâmicas a montante. Sua qualidade ambiental depende menos de intervenções pontuais no plano de água e mais da gestão integrada da bacia contribuinte.

4. O Living Lab como ponte entre ciência, política pública e território

O Living Lab revela-se um dispositivo de governança baseada em evidências, capaz de traduzir dados técnicos em indicadores operacionais para o planejamento urbano, a gestão de recursos hídricos e a definição de prioridades de investimento.

5. A educação como fator de sustentabilidade institucional

A integração da componente educacional transforma o Living Lab de uma infraestrutura técnica em um ecossistema de aprendizagem territorial, ampliando a apropriação social do conhecimento e reforçando a durabilidade institucional das políticas ambientais.

11.2. Quadro de prioridades: curto, médio e longo prazos

O quadro abaixo sintetiza as prioridades estratégicas para a gestão municipal, organizadas por horizonte temporal. Constitui um instrumento direto de apoio à decisão e à comunicação institucional do Living Lab.

Quadro 3 – Quadro síntese de prioridades estratégicas (curto, médio e longo prazos)

<i>Eixo de ação</i>	<i>Curto prazo (0–18 meses)</i>	<i>Médio prazo (18–36 meses)</i>	<i>Longo prazo (36+ meses)</i>
Institucionalização	Formalizar arranjo de governança intersetorial; incluir o Living Lab no Plano Diretor.	Integrar indicadores nos planos municipais de adaptação climática.	Replicar o modelo em municípios vizinhos; integrar redes intermunicipais.
Infraestrutura verde	Mapear hotspots térmicos urbanos; iniciar arborização em escolas e praças.	Implantar corredores verdes; renaturalizar trechos das margens fluviais.	Consolidar estrutura ecológica municipal contínua.
Reservatório e bacia	Instalar loggers aquáticos; primeiro ciclo de qualidade da água.	Plano de gestão integrada da bacia com base em dados do Living Lab.	Sistema de alerta hidroambiental para períodos críticos.
Educação ambiental	Escolas-piloto; primeira oficina de formação de professores.	Integração curricular ampliada; programas territorializados.	Rede regional de educação ambiental ancorada no Living Lab.
Comunicação e participação	Primeiro ciclo de devolutiva pública; cartilhas e infográficos.	Plataforma digital de dados abertos; ciência cidadã ativa.	Cultura local de monitoramento e governança territorial consolidada.

11.3. Recomendações estratégicas para a gestão municipal

(i) Institucionalização do Living Lab

- Integrar formalmente o Living Lab nos instrumentos de política municipal – Plano Diretor, Plano Municipal de Adaptação às Mudanças Climáticas, Plano de Educação Ambiental;
- Criar um arranjo de governança intersetorial permanente.

(ii) Prioridade às infraestruturas verdes

- Reconhecer os corredores fluviais como eixos estruturantes da infraestrutura verde municipal;
- Priorizar a recuperação de vegetação ripária e a redução da impermeabilização em áreas críticas.

(iii) Planejamento urbano sensível ao microclima

- Incorporar critérios microclimáticos no desenho urbano, na regulamentação edilícia e na qualificação de espaços públicos;
- Promover a criação de “ilhas de frescor” em áreas urbanas vulneráveis ao calor, com arborização tecnicamente planejada.

(iv) Gestão integrada da bacia

- Articular políticas urbanas e rurais de uso do solo com objetivos de proteção do reservatório;
- Reforçar práticas conservacionistas em áreas agrícolas a montante.

(v) Consolidação do eixo educacional

- Integrar os dados do Living Lab em projetos pedagógicos escolares;
- Investir em formação continuada de professores e em programas de educação ambiental territorializados;
- Promover ações de ciência cidadã e comunicação pública dos resultados.

11.4. Recomendações operacionais de curto prazo

- Iniciar a implementação piloto da rede de monitoramento em áreas prioritárias;
- Criar um repositório municipal de dados ambientais acessível a técnicos, escolas e comunidade;
- Estabelecer protocolos de manutenção e de controle de qualidade dos dados;
- Promover um primeiro ciclo de devolutiva pública dos resultados.

11.5. Perspectivas de médio e longo prazo

No médio e longo prazos, o Living Lab pode evoluir para uma plataforma regional de monitoramento ambiental e educação para a sustentabilidade, com potencial de replicação metodológica em municípios vizinhos, integração em redes intermunicipais de adaptação climática, captação de financiamentos estruturais e consolidação de uma base histórica de dados que permita análises de tendências e avaliação de políticas públicas ao longo do tempo.

11.6. Consideração final

O Living Lab Ambiental Cidade–Rios–Reservatório, ao articular ciência aplicada, políticas públicas e educação territorial, oferece um modelo operacional de governança ambiental integrada particularmente adequado a contextos semiáridos e a territórios com elevada vulnerabilidade hídrica. Sua implementação não constitui apenas uma inovação técnica, mas um investimento estratégico em capacidade institucional, aprendizagem social e resiliência territorial – elementos essenciais para enfrentar os desafios contemporâneos das mudanças climáticas e da sustentabilidade dos recursos hídricos no agreste pernambucano.

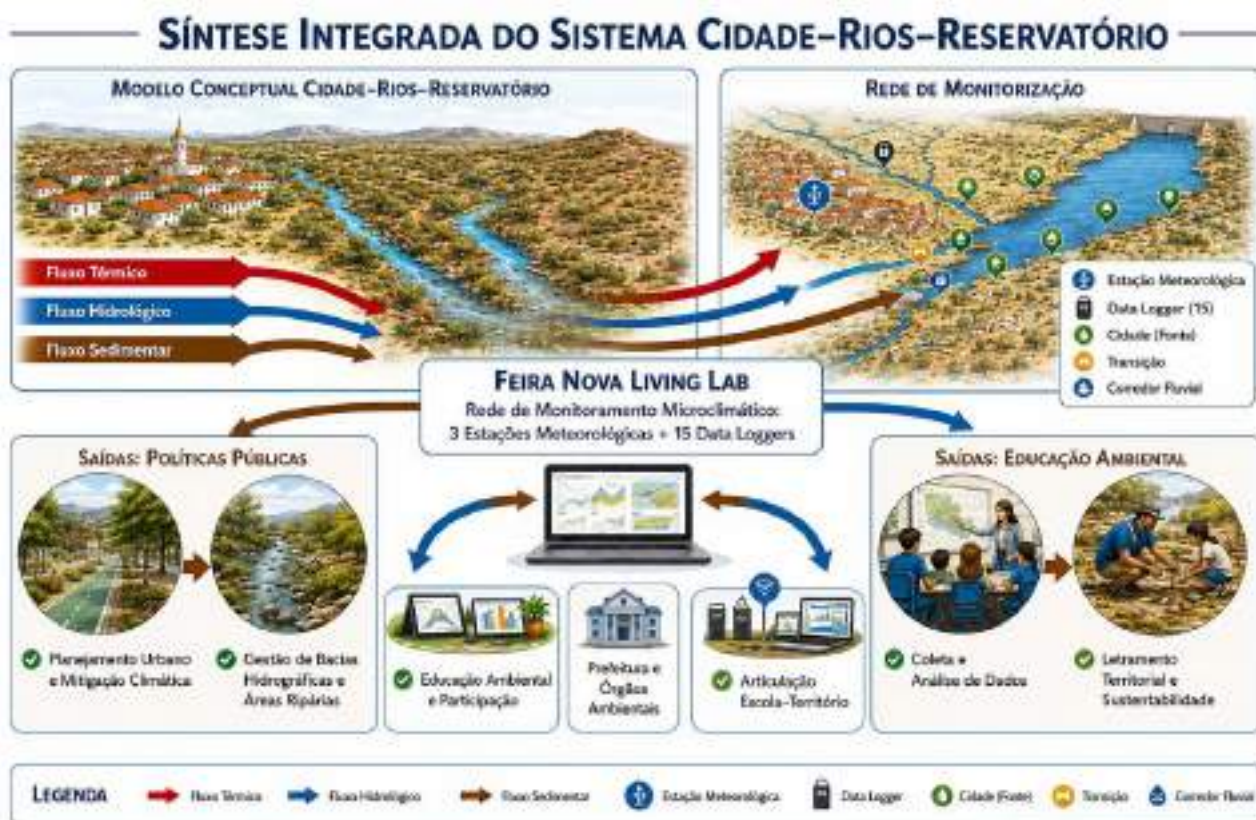


Figura 16 – Síntese integrada do sistema Cidade–Rios–Reservatório

Infografia síntese do livro: articula o modelo conceitual Cidade–Rios–Reservatório com os fluxos térmico, hidrológico e sedimentar; a rede de monitoramento (estações meteorológicas, data loggers terrestres e aquáticos) distribuída nos quatro níveis funcionais; e as duas grandes saídas do Living Lab – políticas públicas (planejamento urbano, mitigação climática, gestão de bacias e áreas ripárias) e educação ambiental (articulação escola–território, coleta participativa, letramento territorial e sustentabilidade).

Em síntese: o Living Lab não é o fim, mas o começo de uma cultura local de monitoramento, decisão informada e cuidado partilhado pelo território.

Glossário



O glossário reúne, em ordem alfabética, os principais termos técnicos utilizados ao longo do livro. As definições foram redigidas para uso operacional no âmbito de gestores, professores, estudantes e cidadãos interessados.

Agreste pernambucano. Zona fisiográfica de transição entre o litoral úmido e o sertão semiárido no estado de Pernambuco, caracterizada por relevo ondulado, mosaico agropastoril, pequenas propriedades e cultura das feiras tradicionais.

Albedo. Razão entre a radiação solar refletida e a radiação solar incidente em uma superfície. Superfícies urbanas com albedo baixo (asfalto, telhas escuras) tendem a aquecer mais e a intensificar a ilha de calor urbana.

Bacia hidrográfica contribuinte. Área geográfica drenada por um sistema de cursos d'água que converge para um corpo receptor – neste caso, o reservatório. Constitui a unidade territorial mínima para a gestão integrada dos recursos hídricos.

Carga difusa. Aporte de poluentes (nutrientes, sedimentos, contaminantes) que não tem origem em um ponto específico de lançamento, mas resulta do escoamento superficial sobre o território – vias urbanas, áreas agrícolas, encostas.

Ciência cidadã. Conjunto de práticas em que cidadãos não especialistas participam ativamente da produção de conhecimento científico – por exemplo, em programas de monitoramento ambiental participativo.

Condutividade elétrica. Capacidade da água de conduzir eletricidade, dependente da concentração de íons dissolvidos. É um indicador indireto da carga salina e da presença de contaminantes na água.

Conforto térmico. Condição em que uma pessoa não experimenta desconforto causado por temperatura, umidade ou ventilação. No espaço público urbano, depende da combinação entre sombreamento, ventilação e cobertura vegetal.

Corredor verde. Faixa contínua de vegetação que conecta áreas naturais ou seminaturais entre si, promovendo conectividade ecológica e regulação climática.

Data logger. Dispositivo eletrônico autônomo de registro contínuo de variáveis ambientais. Os data loggers de temperatura e umidade utilizados no Living Lab gravam medições em intervalos regulares para posterior análise.

Forçante térmica. Conjunto de fatores que modificam o balanço de energia de uma área e geram variações de temperatura. Em ambiente urbano, decorrem da impermeabilização, dos materiais construtivos e da fragmentação da vegetação.

Gradiente microclimático. Variação espacial das condições microclimáticas (temperatura, umidade) entre dois pontos próximos. O Living Lab explora os gradientes urbano–rural, urbano–ripario e cidade–reservatório.

Hipsometria. Representação cartográfica das altitudes de um território, expressa em metros acima do nível do mar e usualmente apresentada em classes de cor.

Ilha de calor urbana (UHI). Fenômeno pelo qual áreas urbanas apresentam temperaturas sistematicamente mais elevadas do que o seu entorno rural, em consequência da impermeabilização, dos materiais construtivos e da redução da cobertura vegetal.

Land Surface Temperature (LST). Temperatura da superfície terrestre, medida por sensores de infravermelho – orbitais ou aéreos (UAV). Distingue-se da temperatura do ar (T_a) por traduzir o estado térmico das superfícies expostas ao sol.

Living Lab. Dispositivo de pesquisa-ação em contexto real, que articula produção de conhecimento científico, experimentação no território e participação de atores locais. No presente caso, assume a forma de uma rede contínua de monitoramento integrada a políticas públicas e ação educativa.

Memória ecológica. Expressão usada para designar a capacidade dos sedimentos de um corpo d'água registrarem, ao longo do tempo, as cargas cumulativas recebidas – funcionando como um arquivo das pressões ambientais.

Microclima. Conjunto de condições climáticas observáveis em escala local – bairro, rua, praça – fortemente condicionadas pela morfologia urbana, cobertura vegetal e propriedades térmicas dos materiais.

Modulação ripária. Capacidade da vegetação ciliar e das margens vegetadas de atenuarem extremos térmicos e higrométricos, retendo sedimentos e filtrando cargas difusas.

Reservatório. Corpo d'água formado pelo represamento de um ou mais cursos d'água, com finalidade de armazenamento hídrico, abastecimento, irrigação e/ou múltiplos usos.

Semiárido. Tipo climático caracterizado por baixa precipitação anual, elevada variabilidade interanual e estiagens prolongadas. Em Pernambuco, abrange ampla porção do território estadual, incluindo o agreste onde se insere Feira Nova.

Solução Baseada na Natureza (NBS). Intervenção que utiliza processos e elementos naturais – vegetação, solos, corpos d'água – para responder a desafios urbanos e ambientais, com cobenefícios para biodiversidade e bem-estar.

Termografia. Técnica de imagem que registra a radiação infravermelha emitida pelas superfícies, traduzindo-a em mapas de temperatura superficial. No Living Lab é aplicada via UAV em áreas urbanas críticas.

Topoclima. Conjunto das condições climáticas associadas a unidades topográficas relativamente extensas – vales, encostas, interflúvios – que condicionam padrões de temperatura, umidade e ventilação locais.

Turbidez. Medida da capacidade da água de transmitir luz, reduzida pela presença de partículas em suspensão. É um indicador de transporte de sedimentos e de processos erosivos a montante.

UAV. Unmanned Aerial Vehicle – veículo aéreo não tripulado. No Living Lab utilizado como plataforma para câmaras termográficas e ortofotos de alta resolução.

Vegetação ripária. Vegetação que ocupa as margens dos cursos d'água, desempenhando funções de estabilização de margens, filtragem de poluentes, modulação microclimática e provisão de habitat.

Zona ripária. Faixa de transição entre o ambiente aquático e o terrestre ao longo dos cursos d'água, com elevada importância ecológica e funcional. No Brasil, parcialmente protegida na figura jurídica das Áreas de Preservação Permanente (APPs).

Referências Bibliográficas



A seleção bibliográfica reúne fontes normativas, técnicas e científicas mobilizadas ao longo do livro, organizadas por categoria temática. As referências foram redigidas seguindo, na medida do possível, os padrões da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023).

Legislação e marcos normativos

BRASIL. Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa (Novo Código Florestal). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 mai. 2012.

BRASIL. Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n.º 454, de 1 de novembro de 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 nov. 2012.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular: Educação é a Base. Brasília: MEC/CONSED/UNDIME, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova Iorque: ONU, 2015.

Estudo de referência citado

VIEIRA DE ALBUQUERQUE, C. Avaliação da qualidade da água e dos sedimentos do reservatório de Feira Nova (PE): pressões antrópicas e implicações para a gestão ambiental. 2025.

Living Labs, governança ambiental e ciência aberta

CHRONÉER, D.; STÄHLBRÖST, A.; HABIBIPOUR, A. Urban Living Labs: Towards an integrated understanding of their key components. *Technology Innovation Management Review*, v. 9, n. 3, p. 50–62, 2019.

ENOLL – European Network of Living Labs. *The Living Lab Methodology Handbook*. Bruxelas: ENOLL, 2020.

MARQUES, D.; GANHO, N.; CORDEIRO, A. M. R. Implementação do Laboratório Ambiental Urbano da Figueira da Foz (Portugal). In: VII Colóquio de Geografia de Coimbra – Territórios contemporâneos em contexto de mudança. *Cadernos de Geografia*, n. 30-31, p. 283–290, Coimbra, 2012.

VOYTENKO, Y. et al. Urban living labs for sustainability and low carbon cities in Europe: towards a research agenda. *Journal of Cleaner Production*, v. 123, p. 45–54, 2016.

Microclima urbano, ilha de calor, termografia e infraestrutura verde

BOWLER, D. E. et al. Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, v. 97, n. 3, p. 147–155, 2010.

CORDEIRO, A. M. R.; LAMEIRAS, J. M. Building urban climate resilience through high-resolution UAV thermography: lessons from Coimbra (Portugal). *Urban Climate*, 2026.

CORDEIRO, A. M. R.; FIALHO, J.; COELHO, C.; LAMEIRAS, J. M. Greening Schools for Climate Resilience and Sustainable Co-Design: A Case Study of Thermal Comfort in Coimbra, Portugal. *Land*, v. 14, n. 10, p. 1985, 2025.

CORDEIRO, A. M. R.; ORNELAS, A.; LAMEIRAS, J. M. The Thermal Regulator Role of Urban Green Spaces: The Case of Coimbra (Portugal). *Forests*, v. 14, p. 2351, 2023.

ORNELAS, A.; CORDEIRO, A. M. R.; LAMEIRAS, J. M. Thermal Comfort Assessment in Urban Green Spaces: Contribution of Thermography to the Study of Thermal Variation between Tree Canopies and Air Temperature. *Land*, v. 12, p. 1568, 2023.

EUROPEAN COMMISSION. *Nature-Based Solutions: State of the Art in EU-Funded Projects*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020.

GEHL, J. *Cidades para pessoas*. São Paulo: Perspectiva, 2013.

IUCN. *Global Standard for Nature-based Solutions: A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS*. Gland: IUCN, 2020.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 108, n. 455, p. 1–24, 1982.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. *Urban Climates*. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

Recursos hídricos, semiárido e qualidade da água

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2024: Informe Anual*. Brasília: ANA, 2024.

MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010–2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, n. 2, supl. 1, p. 1973–1985, 2018.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

Educação ambiental e ciência cidadã

BONNEY, R. et al. Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy. *BioScience*, v. 59, n. 11, p. 977–984, 2009.

CARVALHO, I. C. de M. *Educação ambiental: a formação do sujeito ecológico*. São Paulo: Cortez, 2017.

LOUREIRO, C. F. B. *Trajetória e fundamentos da educação ambiental*. São Paulo: Cortez, 2012.

VIEIRA, C.; CORDEIRO, A. M. R.; FREIRE, M. S. M. Feira Nova: a educação como mediadora na constituição de um território inteligente. In: CASTRO, A. M.; MENDES, R. (Org.). *Cidades: Perspectivas Plurais Sobre Nossos Territórios de Viver*. 1. ed. Porto Alegre: Editora Rede Unida, 2025. ISBN: 978-65-5462-242-4. DOI: 10.18310/9786554622424.

Fontes cartográficas e de dados das figuras

ESRI. *ArcGIS Online basemaps and reference layers*. Redlands: Esri, 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Bases cartográficas contínuas e malhas territoriais*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

MAPBIOMAS. *Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil*. Brasília: Rede MapBiomass, 2024. Disponível em: <<https://mapbiomas.org>>.

OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS. *OpenStreetMap base data*. 2024. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org>>.

PERNAMBUCO. Secretaria de Educação e Esportes. *Plataforma PE3D – Pernambuco Tridimensional*. Recife: Governo do Estado de Pernambuco, 2024.



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

U.PORTO

UNIVERSIDADE
DO PORTO



PREFEITURA MUNICIPAL
FEIRA NOVA
Cidade de Inovação e Sustentabilidade

 **e-DEIA** UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

ReaDS
OPEN, FLEXIBLE AND SUSTAINABLE LEARNING