

# Ciclo urbano-rural da água e saúde ambiental: inter-relações sistêmicas e estratégias para serviços resilientes em contextos de mudança climática

Mario Alejandro Nudelman<sup>1</sup>  Fernando Diego Bach<sup>1</sup> 

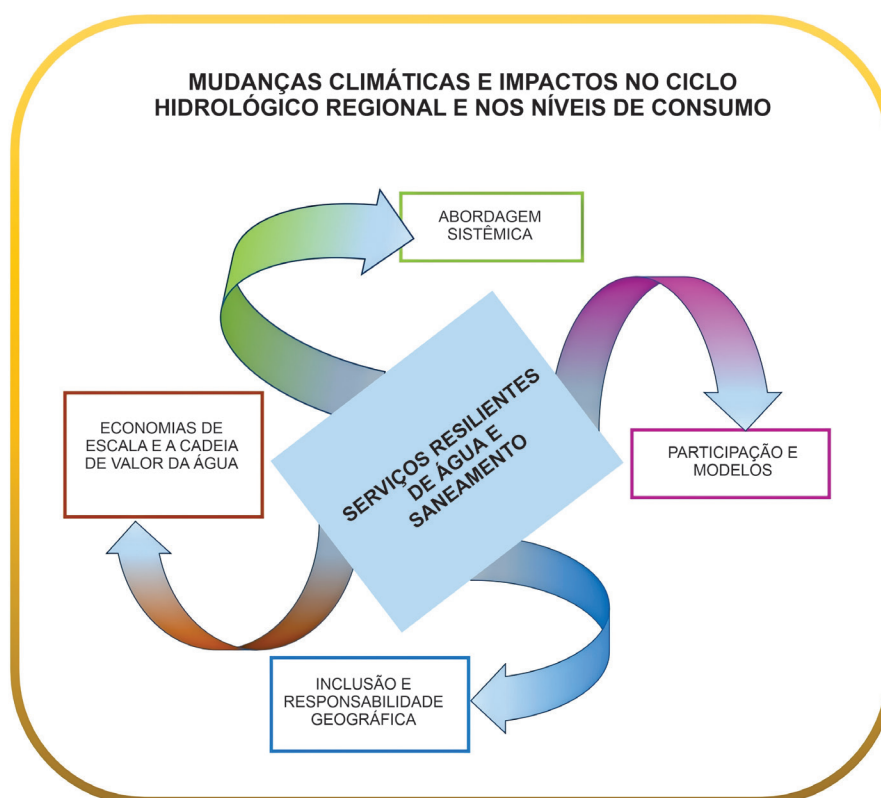
<sup>1</sup>Facultad de Ciencia y Tecnología (FCYT). Universidad Autónoma de Entre Ríos – UADER. Localidad de Oro Verde, Provincia de Entre Ríos, Argentina.

E-mail: nudelman.mario@uader.edu.ar

## Resumo gráfico

### Highlights

- A sustentabilidade relacional fortalece a resiliência dos serviços de água frente às mudanças climáticas.
- Abordagens inclusivas e sistêmicas conectam os desafios hídricos urbanos e rurais.
- Parcerias estratégicas e planejamento local fortalecem a governança adaptativa da água.



## Resumo

Estudo de caso, baseado em observações realizadas no CEGELAH durante 16 anos, promovendo o trabalho de pesquisa, inovação e transferência de tecnologia destinado a fortalecer as capacidades de planejamento dos serviços de água potável de pequena e média escala na província de Entre Ríos. Existem quatro níveis de inter-relações entre os aspectos internos e externos dos sistemas de abastecimento de água. O objetivo é identificar áreas de intervenção em termos de inovações que permitam contrariar as principais vulnerabilidades detectadas na referida escala de serviços num contexto de alterações climáticas. Um primeiro nível é compreender o ciclo da água urbano/rural como complexidade, destacando a abordagem científica proporcionada pela Teoria Geral dos Sistemas como uma linguagem interdisciplinar que permite que suas partes sejam abordadas não isoladamente, mas inter-relacionadas. Um segundo nível relacional é ampliar a base de conhecimento por meio da participação, não apenas de especialistas, mas também dos principais atores sociais na formulação dessa compreensão sistêmica dos problemas e fundamentando o desenho de estratégias de ação por consenso. Um terceiro nível é dado nas possibilidades inclusivas dos setores rurais como beneficiários com direitos iguais aos usuários urbanos do abastecimento de água. E, um quarto nível relacional, o de formar parcerias público-privadas que moldem progressivamente a cadeia de valor da água, promovendo sinergias entre o serviço público de água, os governos locais, o sistema científico-tecnológico, fornecedores de materiais, equipamentos e serviços, profissionais do setor, laboratórios, etc.

**Palavras-chave:** Abastecimento de Água. Mudanças Climáticas. Direitos Humanos. Equipamentos e Suprimentos. Teoria dos Sistemas. Valor da Água.

**Editor de área:** Edison Barbieri  
Mundo Saúde. 2025;49:e16912024  
O Mundo da Saúde, São Paulo, SP, Brasil.  
<https://revistamundodasaude.emnuvens.com.br>

**Recebido:** 05 outubro 2024.  
**Aprovado:** 02 junho 2025.  
**Publicado:** 16 junho 2025.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho nasce sob o impulso dos objetivos do Congresso Internacional sobre Sustentabilidade Relacional (Alta Gracia, Córdoba, Argentina, outubro de 2024). Busca ser uma contribuição à proposta de Luca Fioriani de transição rumo a um paradigma da sustentabilidade relacional, tema central desse Congresso. Tais contribuições são realizadas a partir do prisma da práxis de pesquisa, desenvolvimento e transferência tecnológica no campo do Ciclo Urbano-Rural da Água, em uma província do nordeste argentino.

O artigo constitui-se como um Relato de Casos, fundamentado nas observações dos autores no ambiente institucional do Centro para a Gestão Local Sustentável da Água e do Habitat Humano (CEGELAH), da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidad Autónoma de Entre Ríos, Argentina. O objetivo inicial é destacar a pertinência de se considerar os aspectos relacionais em torno de uma

categoria amplamente utilizada desde o célebre Relatório Brundtland, no qual foi cunhado o termo “desenvolvimento sustentável”. Tal pertinência é sustentada sob uma perspectiva de planejamento estratégico: a mudança climática está impondo condições que comprometem a continuidade da captação de água potável em vastas regiões do planeta.

A hipótese que sustenta a relevância da sustentabilidade relacional neste campo é a seguinte: “As condições de resiliência frente às alterações no ciclo hidrológico provocadas pela mudança climática se fortalecem a partir da robustez dos vínculos (capacidade relacional) entre os serviços de abastecimento de água e seu contexto multiator”. São apresentados quatro níveis relacionais de interesse. Este artigo se restringirá ao “Ciclo Urbano/Rural da Água”. A Figura 3 situará o leitor quanto ao alcance desse Ciclo.

## ASPECTOS METODOLÓGICOS DISCRIMINADOS POR NÍVEL RELACIONAL

Primeiro Nível Relacional. A abordagem sistêmica da tese de doutorado do Diretor do CEGELAH revelou-se um processo positivo de aplicação da Teoria Geral dos Sistemas ao objeto de estudo do Centro: a sustentabilidade do ciclo urbano da água em municípios de pequeno e médio porte. Dessa experiência foram extraídos aspectos relevantes, como o tratamento da complexidade e a formulação de modelos operativos que permitam, sobretudo, representar as inter-relações entre os componentes de uma situação em análise.

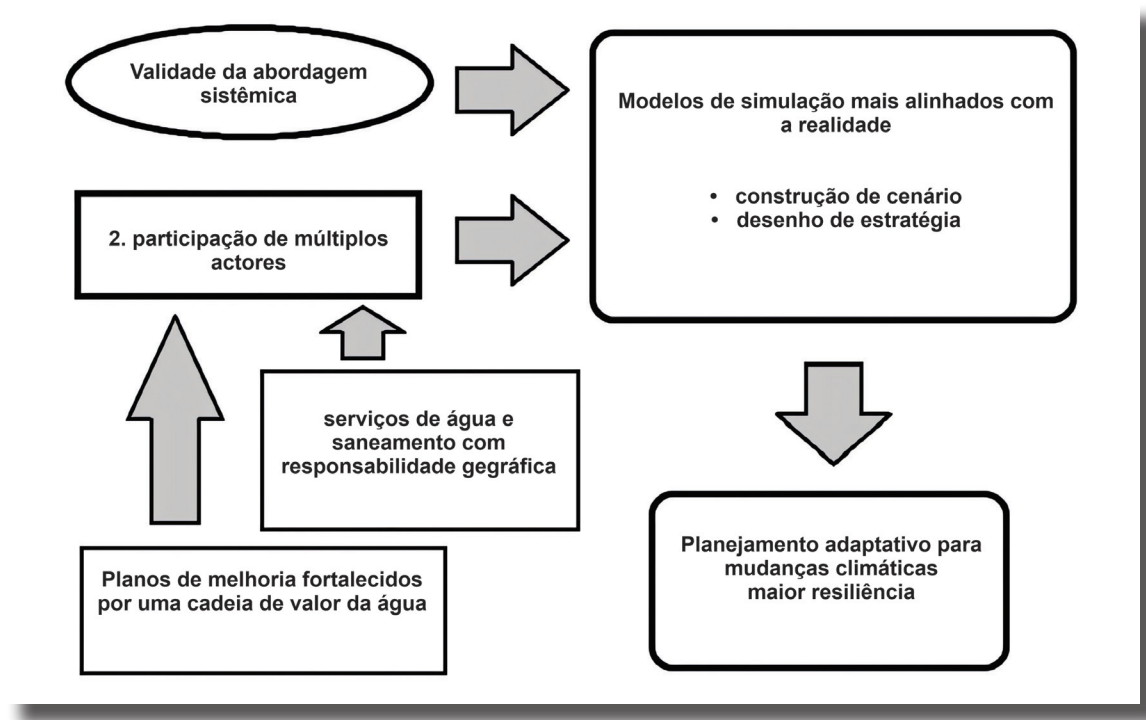
Segundo Nível Relacional. Vinculado ao anterior, foi selecionado um caso apresentado nos antecedentes da referida tese, denominado Liwa, no qual se destaca a participação multiator na definição dos componentes do sistema em estudo, como resposta às críticas aos vieses dos instrumentos tecnológicos que sustentam os processos de tomada de decisão.

Terceiro Nível Relacional. Observações realiza-

das durante os processos formativos da Especialização em Gestão Sustentável de Serviços de Água Potável, nos quais se contrasta as recomendações da norma internacional de base, a ISO 24512, em seu ponto relativo à responsabilidade geográfica dos serviços de água potável, com a práxis dos serviços participantes desse programa de formação.

Quarto Nível Relacional. Observações extraídas da mesma fonte do nível anterior, registrando profundas carências em recursos humanos e serviços de apoio à gestão local da água em localidades pequenas e médias. Soma-se a isso o baixo nível de cooperação institucionalizada entre os serviços dessas localidades.

Como síntese dos quatro níveis relacionais, pode-se visualizá-los no seguinte mapa conceitual como inputs orientados ao fortalecimento das capacidades de planejamento local no setor de água potável e da resposta adaptativa às mudanças climáticas.



**Figura 1** - Mapa conceitual: quatro níveis relacionais para um planejamento local da água potável orientado à resiliência frente à mudança climática.

## RESULTADOS DAS OBSERVAÇÕES REALIZADAS

### A. Breve panorama sobre a mudança climática e seu impacto em Entre Ríos

Para contextualizar a sustentabilidade relacional no campo dos serviços de água potável, destacam-se alguns pontos que vêm impactando diretamente não apenas os aspectos empíricos, mas também o imaginário coletivo da Província de Entre Ríos. A partir deste último, graças à participação do CEGELAH no programa Cultura del Agua en Entre Ríos<sup>1</sup>, foi possível dimensionar, junto àqueles que estão vivenciando os impactos dessas transformações em primeira pessoa, a mudança em sua percepção do meio.

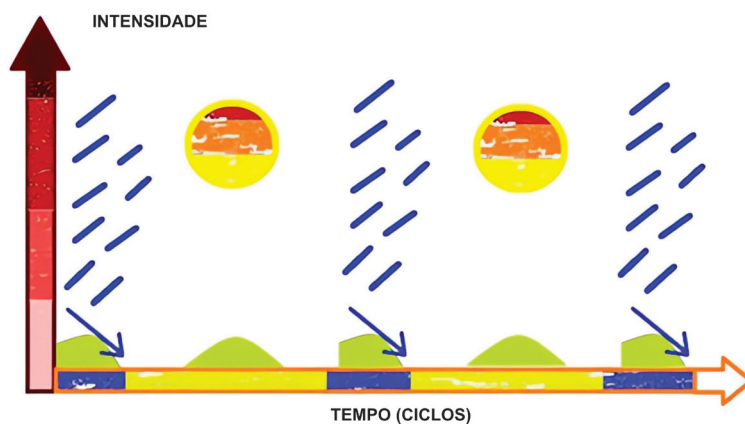
A gestão da água na província foi fortemente influenciada, até esta década, pela ideia de que em Entre Ríos a água é abundante e sempre estaria disponível. Embora historicamente tenham ocorrido ciclos de excesso (chuvas intensas e transbordamento de cursos d'água) e de escassez por secas,

os aquíferos subterrâneos sempre atuaram como garantia de acesso à água potável para todos os serviços da província.

O que há de novo que a mudança climática está trazendo à província? Segundo o CIMA<sup>2</sup> (Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera), isso pode ser resumido da seguinte forma: em cenários nos quais as políticas de descarbonização em escala global não atinjam seus objetivos (Cenário RCP 8.5), haverá aumento nas ondas de calor e nas chamadas noites tropicais. As precipitações, por sua vez, manteriam uma média anual estável, mas passariam a se concentrar em períodos com chuvas extremas seguidas de secas severas.

Qual é o impacto sobre o ciclo hidrológico e as principais fontes de água da província?

A seguir, apresenta-se um gráfico adimensional que o representa.



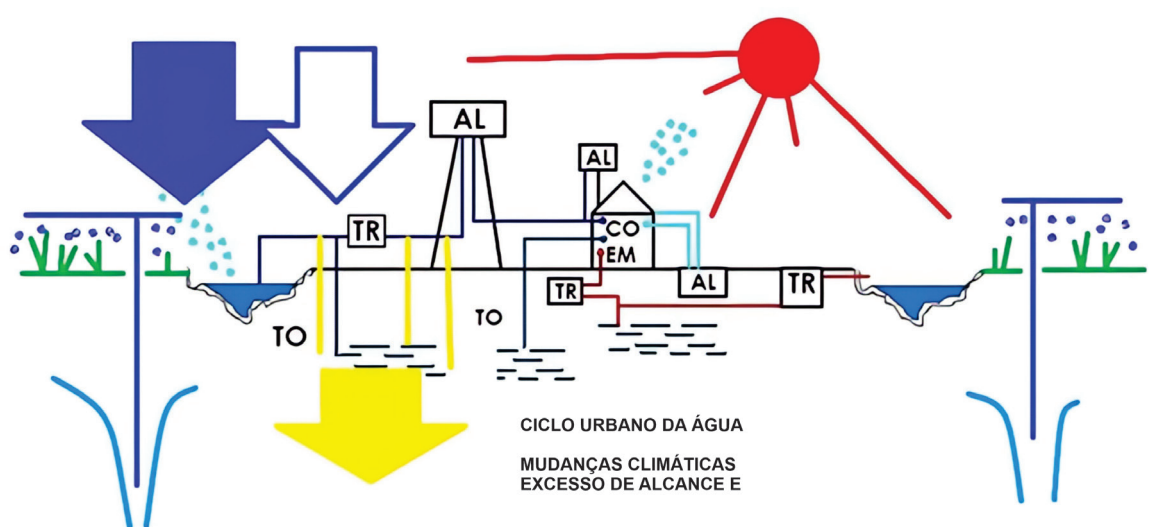
**Figura 2** - Esquema do impacto estimado da alternância de ciclos com secas – ondas de calor – chuvas extremas em Entre Ríos.

De forma taxativa, esse impacto seria composto pelos seguintes efeitos inter-relacionados:

- A concentração das chuvas em períodos mais curtos, com características de chuvas extremas e aumento de sua frequência, trará como consequência fortes enxurradas e alterações nos processos de recarga dos aquíferos.
- Por outro lado, as ondas de calor e o aumento das noites tropicais impactarão sobre a demanda de água, elevando-a.
- As secas extraordinárias nas nascentes dos grandes rios do Litoral causaram quedas extraordinárias nas vazões dos mesmos. Um fenômeno verificado em várias localidades do interior de Entre Ríos foi a queda significativa do nível freático de poços

subterrâneos em exploração, levando-os a sair de operação.

- A combinação entre ondas de calor e secas prolongadas afetará negativamente os rendimentos e a viabilidade das culturas. Como consequência, os produtores com maior capacidade financeira optarão por aumentar as áreas com irrigação artificial complementar, utilizando sobretudo água subterrânea.
- A confluência desses fatores revela um cenário de aumento da vulnerabilidade das fontes subterrâneas e superficiais de água, com riscos altamente prováveis de alterações na disponibilidade do recurso, tanto pela mudança na recarga dos aquíferos quanto por situações de superexploração.



Legenda: TO: Captações de água subterrânea e/ou superficial; TR (azul): Tratamento de potabilização; AL: Armazenamento – Pressão por gravidade; CO: Consumo de água; EM: Emissão de água residual; TR (vermelho): Tratamento de água residual antes do descarte (in situ, subterrâneo ou em corpo receptor).

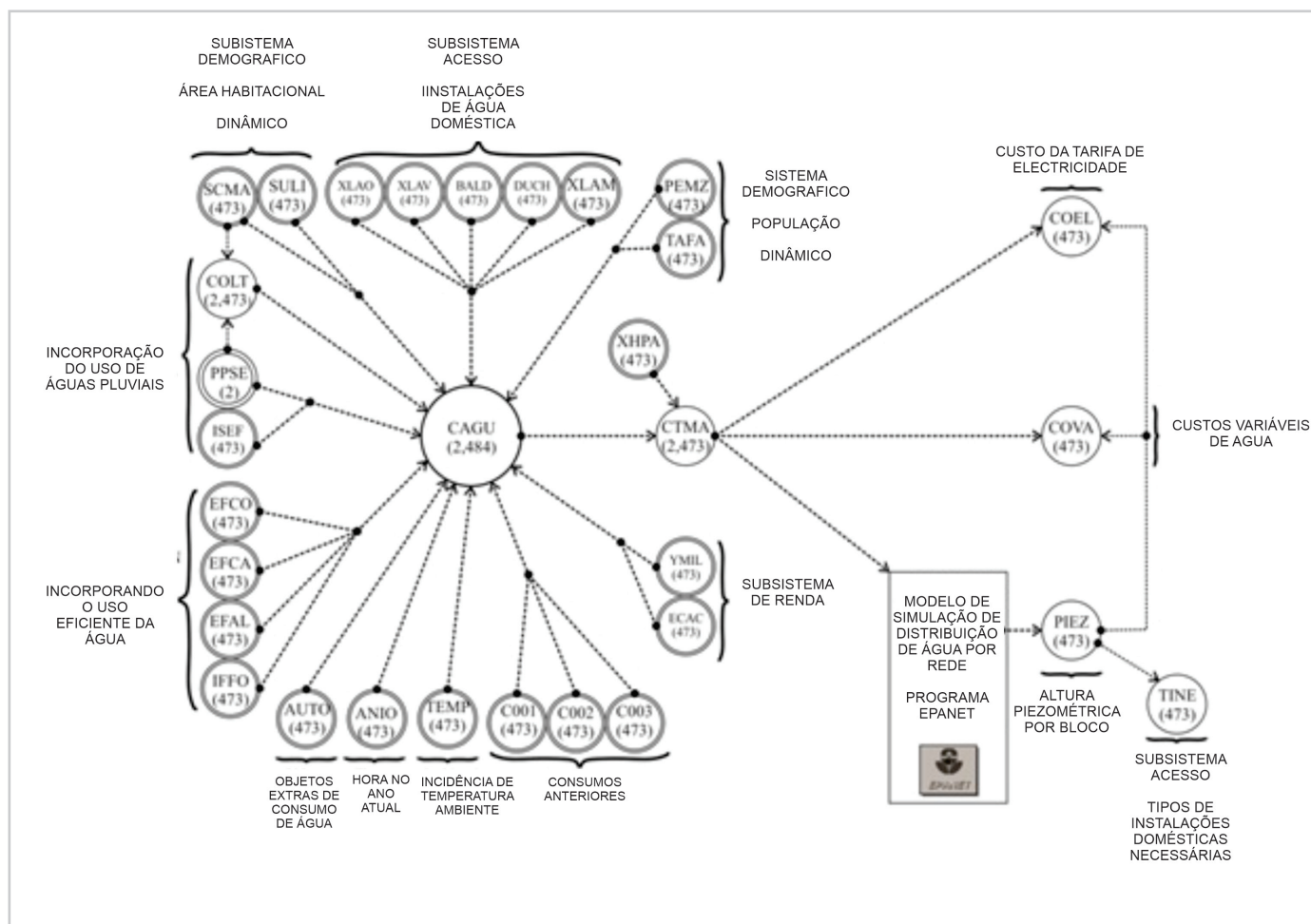
**Figura 3** - O Ciclo Urbano da Água e seu Entorno Rural – Síntese das ameaças trazidas pela Mudança Climática para a Região.

Esses dados iniciais situam o leitor em um contexto de profundas transformações nas condições de vida das localidades da província. As políticas de adaptação propostas pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) para minimizar os impactos negativos sobre as vulnerabilidades locais respondem a um esquema iterativo baseado no conhecimento oriundo da avaliação das ações adaptativas<sup>3</sup>. Para tanto, é crucial compreender a complexa rede de fatores que incidem sobre o objetivo desejável da sustentabilidade, aplicada neste caso à manutenção das condições de acesso à água, tanto em qualidade quanto em quantidade, para toda a população. A seguir, será demonstrado como, a partir da proposta de quatro níveis relacionais aplicados ao ciclo urbano-rural da água, é possível realizar uma aproximação a essa complexidade, de modo a fundamentar a pertinência da sustentabilidade relacional como ferramenta para seu conhecimento e abordagem estratégica no planejamento do setor.

## B. Primeiro nível relacional: a complexidade a partir de uma abordagem sistêmica

Von Bertalanffy e os estudiosos que contribuíram com o pensamento sistêmico desenvolveram uma abordagem que permite não apenas compreender os componentes da realidade de forma individual e isolada, mas também definir as inter-relações entre esses componentes<sup>4</sup>. Esse conjunto, dentro de limites claramente definidos e com objetivos determinados, é denominado sistema.

Para evidenciar a relevância dessa abordagem, apresenta-se um subsistema desenvolvido na tese de doutorado do Diretor do CEGELAH: a demanda de água em um município de porte médio localizado em uma região da Argentina em desenvolvimento. A pergunta orientadora foi: de que depende a demanda de água? Esta não é uma questão trivial. Se forem compreendidos os fatores dos quais depende a demanda, será possível intervir sobre eles para alcançar resultados de economia e uso eficiente da água no sistema de abastecimento.



Fuente: Nudelman, 2016<sup>5</sup>.

**Figura 4 - Diagrama de Forrester – Subsistema Consumo de Água.**

Do gráfico apresentado, depreendem-se, por um lado, as principais variáveis que influenciam a demanda de água, dependendo da localização na malha urbana. Por outro lado, constam as funções matemáticas que explicam a inter-relação entre essas variáveis e o consumo de água. Ambos os aspectos estão detalhados nas tabelas a seguir.

Tabela 1 - Seleção de Variáveis Relevantes no “Subsistema Consumo de Água” para Determinação da Demanda.

| Código | Nome da Variável                                               | Unidade    | Observações                                                                |
|--------|----------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------|
| BALD   | Número médio de banheiros com ducha de balde por quadra        | Nº         | Indica a ausência de chuveiro nas instalações de água                      |
| XLAV   | Número médio de máquinas de lavar automáticas por quadra       | Nº         | Disponibilidade de máquinas de lavar na quadra                             |
| XLAO   | Número médio de lavatórios por quadra                          | Nº         | Disponibilidade de lavatórios nos banheiros da quadra                      |
| DUCH   | Número médio de higiene pessoal com uso de chuveiro por quadra | Nº         | Disponibilidade de chuveiros nos banheiros da quadra                       |
| XLAM   | Número médio de lavagens de roupa à mão por quadra             | Nº         | Média de unidades na quadra onde se lava roupa manualmente                 |
| YMIL   | Renda média por quadra, sobre a população total                | Pesos      | $\sum$ Renda da quadra / População total (para cálculo, dividido por 1000) |
| ECAC   | Renda média por quadra, sobre população economicamente ativa   | Pesos      | $\sum$ Renda da quadra / População E.A. (para cálculo, dividido por 1000)  |
| PEMZ   | Número de pessoas por quadra                                   | Nº Pessoas | População residente na quadra (para cálculo, dividido por 1000)            |
| TAFA   | Tamanho médio das famílias da quadra                           | Nº Pessoas | Média de integrantes por quadra (para cálculo, dividido por 1000)          |
| SULI   | Média da superfície livre por parcela na quadra                | m²         | Média de área não construída por parcela na quadra (dividido por 1000)     |
| SCMA   | Média da superfície construída por parcela na quadra           | m²         | Média de área construída por parcela na quadra (dividido por 1000)         |
| AUTO   | Média de automóveis particulares por quadra                    | Nº         | Estimativa do uso de água para lavagem de veículos                         |
| CO01   | Consumo médio de água por quadra e semestre – 2001             | m³         | Padrão de consumo em 2001 como variável independente (dividido por 1000)   |
| CO02   | Consumo médio de água por quadra e semestre – 2002             | m³         | Padrão de consumo em 2002 como variável independente (dividido por 1000)   |
| CO03   | Consumo médio de água por quadra e semestre – 2003             | m³         | Padrão de consumo em 2003 como variável independente (dividido por 1000)   |
| TEMP   | Temperatura média por semestre e ano                           | °C         | Dados obtidos da estação meteorológica mais próxima (dividido por 1000)    |
| CAGU   | Consumo de água por parcela e quadra                           | m³         | Consumo calculado diferencialmente segundo a quadra de localização         |

Tabela 2 - Exemplo de função representativa das inter-relações entre CAGU (Consumo de Água) e variáveis independentes da Chácara e Semestre em estudo. Fonte: Nudelman, 2016.

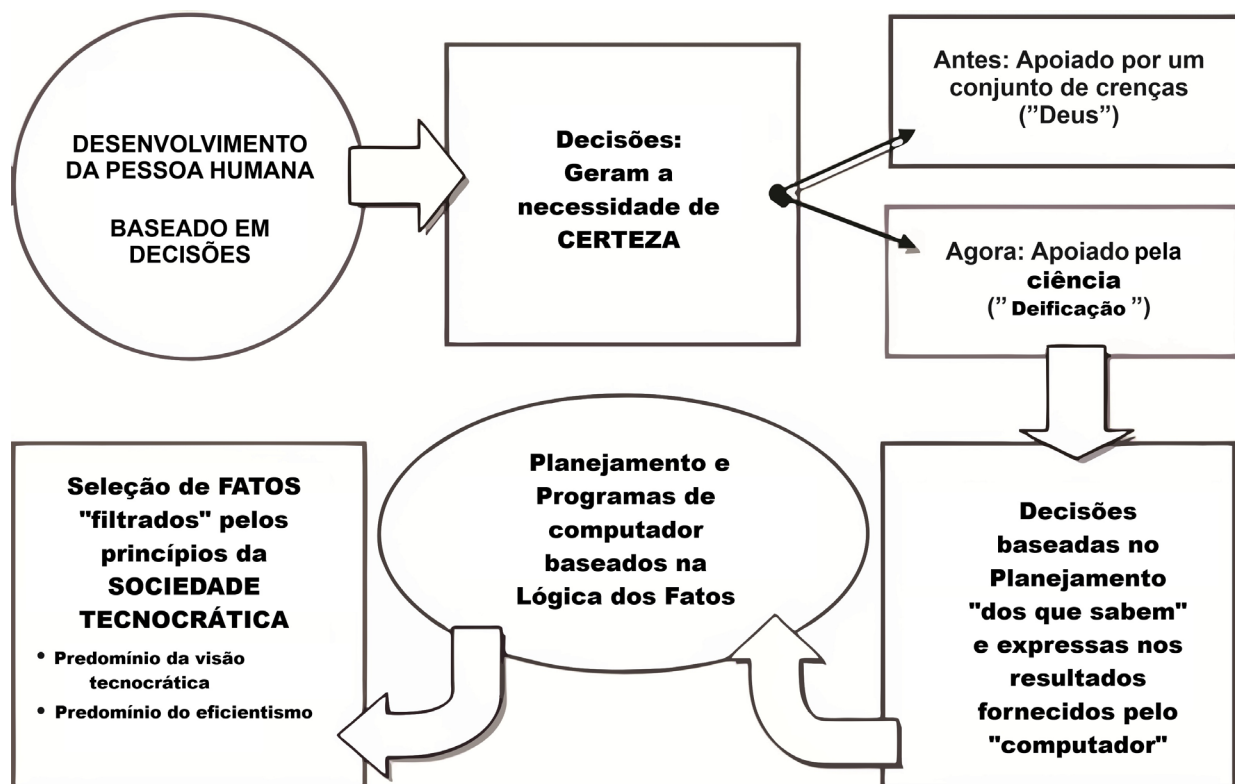
| Chácara 46                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1º semestre (“quente”) | Coef. Det. R2 = 0,738 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| <b>Variáveis Implicadas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                        |                       |
| TAFA: Tamanho médio da família por quadra (dividido por 1000)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                        |                       |
| XLAV: Número médio de máquinas de lavar automáticas por quadra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                        |                       |
| YMIL: Renda média por quadra sobre a população total (dividido por 1000)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                        |                       |
| XLAO: Número médio de lavatórios por quadra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                        |                       |
| DUCH: Número médio de pessoas usando chuveiro por quadra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                        |                       |
| Equação (13)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                        |                       |
| $h=9.40517927090800e+000+1.303531075121132e+002*(TAFA(i1)*XLAV(i1))+1.703939375930131e+001*(YMIL(i1)*XLAO(i1))-2.822452265058277e+001*(1/DUCH(i1))+2.611987434590440e+001*(1/XLAO(i1))$ $AA=1146.707781135041*((TAFA(i1)*XLAV(i1))-0.006684)^2+14.940235040672*((YMIL(i1)*XLAO(i1))-0.093307)^2+4.919812943306*((1/DUCH(i1))-3.580403)^2+4.191338569795*((1/XLAO(i1))-3.864641)^2$ $AB=-2*29.480554636427*((TAFA(i1)*XLAV(i1))-0.006684)*((YMIL(i1)*XLAO(i1))-0.093307)$ $AC=-2*26.630879895221*((TAFA(i1)*XLAV(i1))-0.006684)*((1/DUCH(i1))-3.580403)$ $AD=2*24.617962245698*((TAFA(i1)*XLAV(i1))-0.006684)*((1/XLAO(i1))-3.864641)$ $AE=-2*1.992911372906*((YMIL(i1)*XLAO(i1))-0.093307)*((1/DUCH(i1))-3.580403)$ $AF=2*1.853071703269*((YMIL(i1)*XLAO(i1))-0.093307)*((1/XLAO(i1))-3.864641)$ $AG=-2*4.540915169092*((1/DUCH(i1))-3.580403)*((1/XLAO(i1))-3.864641)$ $s=1.398164*\sqrt{1+1/35+AA+AB+AC+AD+AE+AF+AG}$ |                        |                       |

Antonio Caselles, da Universidade de Valência, desenvolveu há décadas uma metodologia e um suporte de programas computacionais que permitem abordar sistemicamente qualquer tipo de realidade e construir um simulador por computador (aplicativo) capaz de representar o comportamento de uma variável-objetivo com base na projeção de suas variáveis dependentes<sup>6</sup>. Dessa forma, aquilo que é conceitualmente identificado como “complexo” pode ser traduzido em uma aplicação que, com seus limites e margens de erro devidamente explicitados, fornece conhecimento especializado sobre a variável em foco — neste caso, a demanda de água em diferentes setores de uma localidade —, integrando os campos do saber que contribuem para a definição das variáveis independentes envolvidas e os tipos de inter-relações conhecidas ou identificadas no estudo de caso. Além disso, a construção de cenários futuros com base nas variáveis ambientais envolvidas possi-

bilita estimar a trajetória dessa demanda diante, por exemplo, das condições de mudança climática previstas em um determinado horizonte temporal.

### C. Segundo nível relacional. A participação para modelos mais realistas

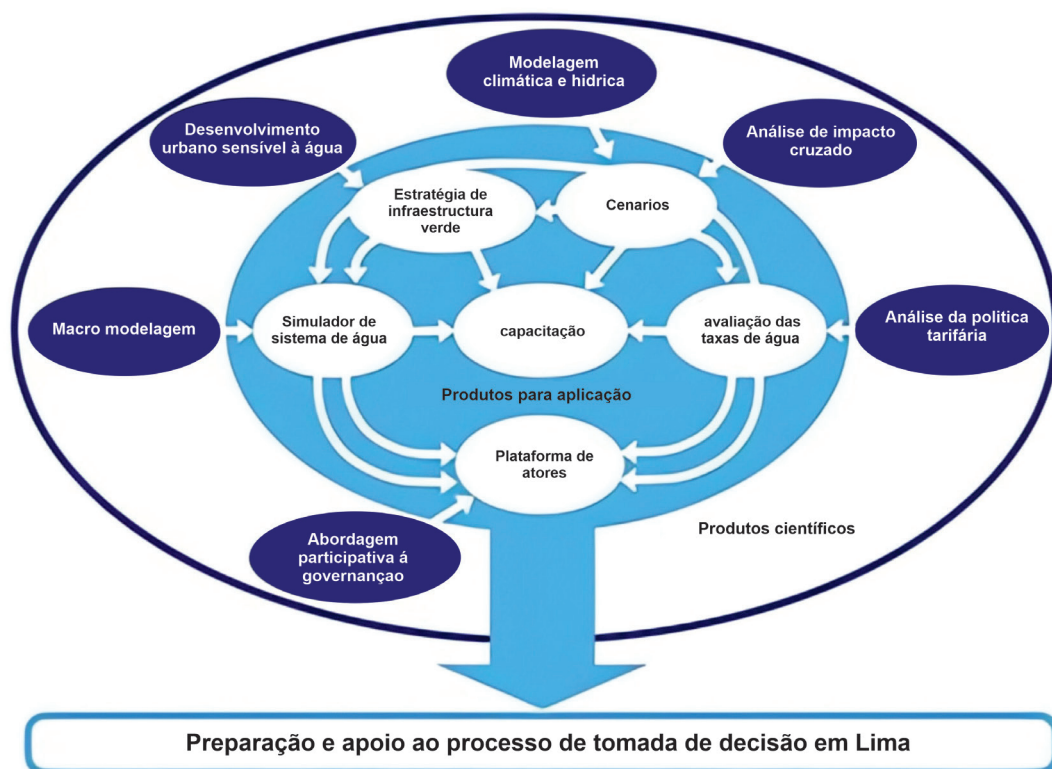
Com razão, os modelos têm sido criticados como prismas incompletos e até tendenciosos na compreensão da realidade. Já nos anos 1970, Erich Fromm centrava sua crítica na tendência da época de utilizar programas computacionais e seus modelos dissociados da realidade e das pessoas sobre as quais seus resultados e ações subsequentes iriam incidir. Tecnicamente, isso é conhecido como “viés” e corresponde, na terminologia de Fromm, à “lógica dos fatos”<sup>7</sup>. O cerne dessa crítica era: quem decide qual variável é relevante na compreensão de uma realidade e, portanto, deve ser incorporada como parte do modelo explicativo dessa realidade?



**Figura 5** - Mapa conceitual da crítica de Erich Fromm à seleção de variáveis significativas segundo a lógica dos fatos. Fonte: Nudelman, 2016.

Existem experiências muito interessantes em que, a partir de técnicas grupais e de participação, é possível incorporar os pontos de vista daqueles que fazem parte do problema a ser analisado, os quais podem revelar-se fundamentais para alcançar resultados mais condizentes com a realidade.

Como exemplo, o Projeto Liwa<sup>8</sup> mostra, no esquema a seguir, como um modelo com participação multilateral é incorporado como uma ferramenta que auxilia no planejamento participativo baseado em evidências confiáveis fornecidas pelos próprios participantes.



**Figura 6** - Visão geral da metodologia do projeto LiWa e seus produtos  
Fonte: Liwa, 2015.

Sem dúvidas, este é um nível relacional muito pouco abordado. Por um lado, em alguns setores há certa rejeição visceral às metodologias quantitativas para a explicação de fenômenos, especialmente no campo social. Ninguém está endeusando tais metodologias, pois qualquer cientista ou tecnólogo que se preze pela objetividade e honestidade explicita os critérios, os alcances e as limitações com que um modelo foi concebido. No entanto, sua construção e aperfeiçoamento integram um processo virtuoso que permite um conhecimento que, de outro modo, estaria fragmentado em estudos volumosos que pouco contribuem na hora de tomar decisões em campo. Por outro lado, o enfoque sistêmico constitui uma linguagem que favorece a interdisciplinaridade.

Sobre esses ganhos, avançar na abertura desses processos àqueles que possuem um conhecimento experiencial da realidade (em estudo ou intervenção) representa, sem dúvida, uma valorização das contribuições de cidadãos, industriais, gestores e produtores. Esses sujeitos podem colaborar com um modelo mais preciso que permita estabelecer uma relação sustentável com o entorno natural, no que diz respeito aos serviços ecossistêmicos que este oferece local ou regionalmente, e também a uma distribuição mais equitativa da água.

Por fim, é notável a confluência do pensamento de Erich Fromm neste ponto com o de Romano Guardini, citado diversas vezes pelo Papa Francisco na *Laudato Si'*<sup>9</sup>, ao tratar da necessidade de oferecer alternativas humanizantes ao “paradigma tecnocrático”. Que a tecnologia (neste caso, a vertiginosa tecnologia da informática e da simulação) passe a ser um instrumento a serviço das maiorias, na explicação dos fenômenos que as afetam e na viabilização de construções coletivas estratégicas para sua superação, é sem dúvidas um horizonte que não se pode abandonar.

#### ***D. Terceiro nível relacional. Os serviços de abastecimento e seus usuários***

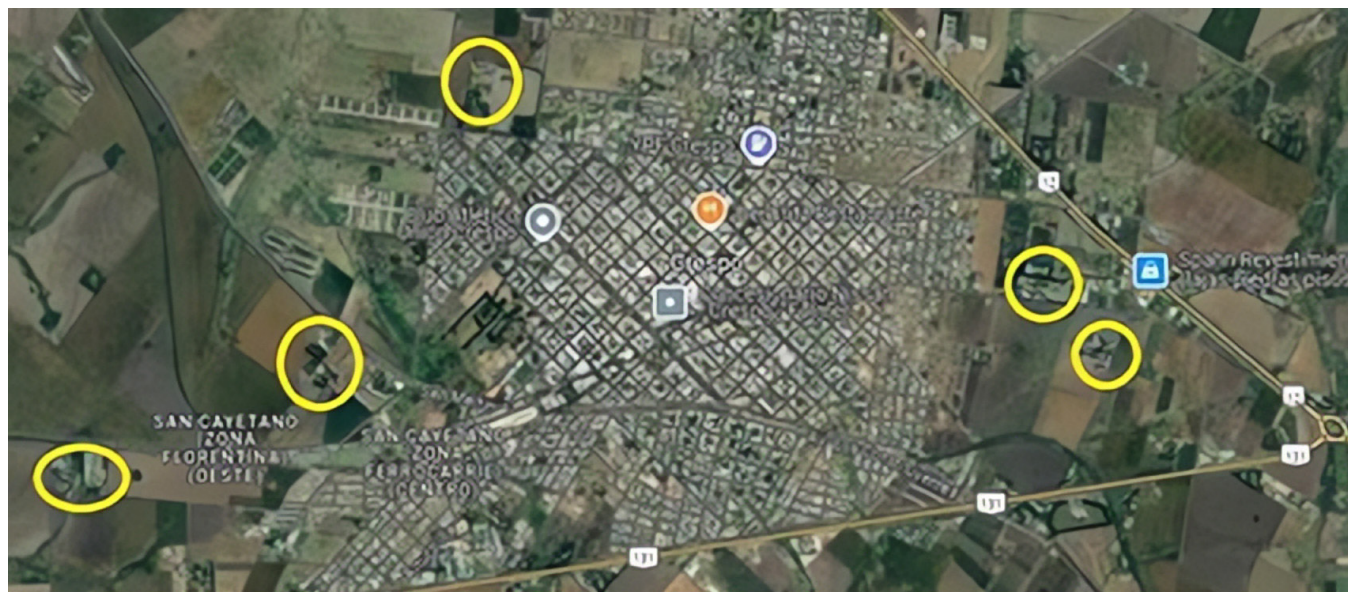
Ao transitar dos aspectos mais técnicos do conhecimento do ciclo urbano/rural da água para as formas de gestão, evidencia-se uma situação clara de desvantagem no acesso à água. Na província de Entre Ríos, cada prefeitura é responsável pelo fornecimento de água a seus habitantes. Jurisdicionalmente, existe o que se denomina *ejido municipal*, ou seja, a porção de território sob sua administração, na qual se estabelece um sistema de abastecimento de água que pode ser de gestão pública (serviço municipal de água) ou de gestão cooperativa (cooperativas de

serviços de água e saneamento).

O problema surge nos processos de ocupação do território rural ao redor desses ejidos municipais, onde há população dispersa ou pequenos assentamentos que recebem o nome de “colônias”, os quais podem se conectar a uma rede com foco nas localidades urbanizadas.

A desigualdade se evidencia quando se constata que a igualdade perante a lei não se reflete na igualdade de acesso à água. Um exemplo prático: os moradores do núcleo urbano contam com acesso à rede de abastecimento de água, e, independentemente da eficiência da gestão do serviço, existe uma entidade

responsável por garantir um certo padrão de qualidade e quantidade da água fornecida. Fora do ejido municipal, porém, não há nenhuma entidade responsável — recai sobre o próprio morador ou sobre a colônia a responsabilidade integral pelo acesso à água. Evidentemente, trata-se de uma situação de desamparo e desproteção que gera uma inequidade social significativa. Embora tenham existido programas de fornecimento de água rural, esses programas sempre sofreram com a falta de continuidade e, sobretudo, com o fato de que a responsabilidade final pela operação do sistema implantado acaba recaindo sobre o próprio usuário.



**Figura 7** - Exemplo da cidade de Crespo, moradores fora do ejido municipal.  
Fonte: Google Earth, 2024 – Elaboração própria, 2024.

No entanto, a norma internacional ISO 24500 para serviços de água e saneamento propõe um avanço que representa um ponto de partida com grande potencial relacional neste terceiro nível. Ela introduz o conceito de “responsabilidade geográfica” no abastecimento de água, indo além dos limites administrativos de um ejido municipal<sup>10</sup>. Em poucas palavras, a norma amplia o escopo de escuta: interessa-nos a água consumida por toda pessoa, família ou grupo que esteja próximo de uma localidade.

Atualmente, os avanços nos sistemas de comunicação e informação permitem um monitoramento preciso das condições de abastecimento da população dispersa dentro da área de responsabilidade geográfica de um serviço municipal ou cooperativo de água. Por exemplo, a verificação periódica das condi-

ções de potabilidade já seria uma forma de respaldo à saúde dessas populações. Mais ainda: a vulnerabilidade a impactos decorrentes da má gestão de agrotóxicos é muito maior nesses contextos, exigindo um acompanhamento dos parâmetros de qualidade da água relacionados a essas substâncias.

Tudo isso pode ser verificado e orientado por pessoal técnico especializado dos serviços municipais de água potável, atuando como extensões desses serviços. A sustentabilidade relacional abre espaço para novos desafios e convida à criação de soluções criativas, aproveitando as capacidades de todos os envolvidos.

**E. Quarto nível relacional. economia de escala e cadeia de valor da água**

A Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), já em 2010, estudou a vulnerabilidade econômica enfrentada pelos sistemas de abastecimento de água de pequena e média escala. O conceito de “economia de escala” nesses sistemas, apresentado por Lentini e Ferro<sup>11</sup>, aborda aspectos operacionais relevantes nesse desafio. Tornou-se evidente na Argentina como a onda privatizadora dos serviços de água potável nos anos 1990 concentrou-se quase exclusivamente nos grandes sistemas das capitais provinciais. O motivo era claro: não havia “interesse comercial” dos grandes consórcios em atuar em localidades menos rentáveis.

Essa constatação oferece um diagnóstico da baixa rentabilidade econômica desses serviços. No entanto, onde há ameaça, também pode haver oportunidade. Os vínculos entre localidades — sejam eles viários, produtivos, por bacias hidrográficas, partidários ou cooperativistas — já existem informalmente em situações emergenciais. Um exemplo disso ocorreu quando, após a queima de uma bomba de captação subterrânea em uma cidade, um simples telefonema

ao prefeito de um município vizinho foi suficiente para conseguir uma bomba sobressalente e restabelecer o serviço em poucas horas.

Diante de uma proposta de planejamento do setor hídrico por conglomerados de localidades, com acordos sobre as melhores tecnologias a serem adotadas, seria viável realizar compras conjuntas, aumentando a escala e negociando melhores preços com fornecedores. Outro ponto sensível é a crescente escassez de operadores capacitados. Pensar em recursos humanos especializados atuando em redes de municípios não é uma utopia. Na Espanha, por exemplo, já existem há décadas mancomunidades de pequenas localidades que compartilham bacias hidrográficas, como a Mancomunidad del Alto Palancia<sup>12</sup>, que gerenciava, entre outros, os serviços de coleta de resíduos para todas as comunidades associadas.

Sem dúvida, a criação de vínculos de confiança e a capacidade de formular planos de desenvolvimento conjuntos — ainda que modestos — podem ser passos cruciais para superar vulnerabilidades estruturais e fortalecer a resiliência dos serviços de abastecimento.



**Figura 8** - Exemplo de potencial economia de escala em água e saneamento: Crespo (Entre Ríos), suas colônias, aldeias (amarelo) e localidades próximas (laranja).  
Fonte: Google Earth.

Por fim, outro aspecto dentro desse mesmo nível é o da “cadeia de valor da água”. Estabelecer os componentes de todo o processo que compõe o Ciclo Urbano-Rural da água e, em cada um deles, os atores envolvidos, evidencia a complexidade e a amplitude dessa cadeia. Como um primeiro esboço da cadeia de valor, foi elaborada a Tabela 3. Seria necessário aprofundá-la e, obviamente, classificar esses atores e verificar sua disponibilidade, qualidade e papel dentro dessa cadeia. No entanto, a realidade mostra que essa cadeia é inexistente enquanto tal. E o motivo fundamental é que não há objetivos de serviço nem de cuidado com o recurso hídrico por parte de quem deveria governar o sistema local de abastecimento.

Um exemplo ilustra bem a questão: existe uma dor de cabeça que se repete sazonalmente em cada serviço local de água potável — a sobrecarga gerada pelo enchimento de piscinas familiares ou coletivas no verão. O problema principal é a falta de manutenção dessas piscinas; quando a água não está em boas condições, os consumidores preferem esvaziá-las e enchê-las novamente. Um elo inexistente nessa cadeia é o de um ou mais empreendedores, bem capacitados e com o equipamento necessário para oferecer serviços de manutenção de piscinas. Há de-

zenas de desconexões nessa cadeia nas pequenas e médias localidades.

Outro exemplo: o BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento) estima que cerca de 40% da água extraída e tratada pelos serviços de água potável acaba sendo perdida por vazamentos (água não controlada). Isso representa um desperdício tanto do recurso hídrico quanto de energia elétrica, já que cada litro vazado foi previamente bombeado. Encontrar empreendedores com base tecnológica especializados na detecção de vazamentos (em redes ou residências) é como procurar uma agulha no palheiro. Um serviço público altamente subsidiado como o da água, tem como consequência a inviabilidade econômica de esforços para detectar e reparar vazamentos.

Economizar nos gastos energéticos oferece algum grau de interesse por parte dos serviços de água, como demonstrou a intervenção realizada na cidade de Nogoyá pelo CEGELAH, por meio de um Diagnóstico de eficiência hidroenergética em seu serviço de água potável<sup>13</sup>.

A seguir, apresenta-se uma tabela que ajuda a visualizar os potenciais componentes da cadeia de valor da água, organizados conforme os trechos do Ciclo Urbano-Rural da Água.

Tabela 3 - Potenciais elos de uma cadeia de valor da água.

| Potenciais componentes de uma cadeia de valor da água                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fonte                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Armazenamento                                                                                                                                                                                                                                                        | Tratamento e Distribuição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Consumo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Emissão                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Profissionais e Técnicos:</b><br>* hidrogeólogos<br>* perfuradores<br>* laboratórios homologados de qualidade da água<br>* serviços especializados para estudos das condições de exploração do aquífero<br><br><b>Fornecedores:</b><br>* de equipamentos de bombeamento subterrâneo<br>* de instrumentos de medição<br>* de filtros e materiais | <b>Profissionais e Técnicos:</b><br>* construtores<br><br><b>Fornecedores:</b><br>* de reservatórios de grande volume<br>* de equipamentos de bombeamento para impulsão<br>* de instrumentos de medição<br>* de serviços de manutenção de equipamentos e instalações | <b>Profissionais e Técnicos:</b><br>* amostragem profissional da água distribuída<br>* supervisão da qualidade da água<br>* laboratórios homologados de qualidade da água<br>* serviços especializados para calibração do sistema de desinfecção<br>* empresas de instalação de redes<br>* formuladores de projetos e otimização de redes<br>* detecção de vazamentos<br><br><b>Fornecedores:</b><br>* de cloradores para água bruta<br>* de insumos e materiais | <b>Organizações que representam a demanda por água:</b><br>* comissões de moradores<br>* câmaras comerciais e industriais<br>* usuários-sócios (cooperativas)<br><br><b>Formuladores da demanda urbana:</b><br>* incorporadores imobiliários<br>* projetistas e construtores residenciais, institucionais e industriais<br><br><b>Fornecedores:</b><br>* de aparelhos e instalações<br>* de serviços de manutenção de equipamentos, aparelhos e instalações | <b>Profissionais e Técnicos:</b><br>* serviços especializados em estudos das condições de despejo em cursos d'água receptores<br>* serviços especializados em projeto e manutenção de estações de tratamento de esgoto<br>* serviços de monitoramento da qualidade da água despejada e dos cursos receptores<br>* serviços de manutenção de instalações <i>in situ</i> |
| Comuns a todos os estágios do Ciclo Urbano-Rural da Água: * organismos de crédito * organismos de cooperação para o desenvolvimento<br>* organismos de formação técnica e profissional * responsáveis pela inspeção, verificação, operação, manutenção e administração do serviço.                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

## DISCUSSÃO

A discussão a seguir busca refletir possíveis perguntas que o leitor possa se formular.

*De que maneira uma abordagem relacional se mostra superior a uma abordagem tradicional?*

A abordagem relacional para a sustentabilidade revela-se pertinente em virtude da noção de complexidade. Um exemplo recente da problemática econômica na Argentina ilustra muito bem essa questão. O modelo econômico vigente impôs estilos de vida mais ou menos homogêneos, baseados no conforto, no status e no consumo. Quando se pensa em lavar roupas, ninguém deixa de imaginar uma máquina de lavar automática. Contudo, as medidas de cuidado ambiental levaram ao desenvolvimento de eletrodomésticos “ecoeficientes”. No nosso caso, máquinas de lavar automáticas que oferecem funções de baixo consumo de água.

Porém, estudos de correlação de fatores dos quais depende a demanda (ver Tabelas 1 e 2 anteriores) mostraram uma associação positiva entre o uso desse tipo de máquina de lavar e os consumos domiciliares de água. A aparente contradição pode ser explicada pelos estilos de vida: como o uso da máquina é muito fácil e a tarifa de água é muito baixa, os consumidores optam por lavar as roupas com maior frequência, mesmo após pouco uso. Isso explicaria como, embora uma máquina “eco” consuma menos água por ciclo do que modelos mais antigos, seu uso mais frequente ao longo do dia resulta em maior consumo total de água.

Se somarmos a isso as medidas de reativação econômica já implementadas no país (construção civil e maior acessibilidade a eletrodomésticos), é possível visualizar como essas políticas podem impactar negativamente o cuidado com os recursos hídricos, ao impulsionar o consumo de água. Esse exemplo evidencia como convergem fatores sociais (estilos de vida e propagandas que os impõem), econômicos (tarifas, salários, créditos), tecnológicos (certificações “eco”) e outros condicionantes possíveis. Essa complexa rede de inter-relações é aquela que, com apoio da academia, precisa deixar de ser uma “caixa-preta” e se tornar uma “caixa-transparente”, para ser incorporada aos processos de planejamento local e à resolução efetiva de políticas de gestão da demanda de água que sejam mais eficazes.

*Qual seria a relação com a resiliência à mudança climática e o uso de modelos de simulação que incorporem a participação dos atores implicados?*

A principal virtude de um modelo reside no fato de representar a realidade da forma mais fidedigna possível. Isso implica que seus resultados (variáveis-objetivo) sejam confiáveis. Quando as pessoas que participam da construção de um modelo representam um espectro amplo de atores sociais conhecedores do sistema en-

volvido — seja por formação acadêmica, seja por saber empírico — evitam-se vieses que distorcem a realidade representada.

No momento de realizar projeções sobre o impacto da mudança climática sobre determinados fatores de uma realidade local ou regional específica, torna-se fundamental dispor dessa confiabilidade, de modo que os investimentos e esforços realizados contribuam efetivamente para uma adaptação bem-sucedida à mudança climática ou, em outras palavras, aumentem a resiliência do sistema em questão.

*O caso apresentado esteve centrado geograficamente em uma província argentina, Entre Ríos, âmbito de ação do CEGELAH. Mas quais elementos deste caso seriam extrapoláveis a outros pontos geográficos?*

A mudança climática em Entre Ríos, com indícios visíveis para toda a sociedade — como a vazante extraordinária do rio Paraná e as secas prolongadas entre 2022 e 2024 — impôs uma pergunta culturalmente inédita para a região: Entre Ríos pode ficar sem água? Trata-se de uma inflexão importante, uma vez que, no imaginário social, sempre se considerou tal hipótese impossível. Diante de uma transformação dessa magnitude, há muito a ser feito, pois a gestão da água nesse território sempre foi marcada pela ausência de objetivos verificáveis quanto ao cuidado com o recurso e por uma distribuição anárquica.

Nesse sentido, o caso de Entre Ríos pode ser comparável a outras regiões onde a água sempre foi abundante — especialmente a subterrânea — e, por isso, não se desenvolveu uma gestão mais rigorosa e fundamentada em evidências. Outro aspecto passível de extrapolação, por seu caráter de padrão internacional, é a aposta na formação de recursos humanos e tomadores de decisão, visando avançar, entre outros pontos, na produção local de Indicadores de Desempenho (ID), conforme os padrões estabelecidos pelo conjunto de normas ISO 24500.

É sabido que uma boa base de planejamento depende de informações pertinentes, confiáveis e periódicas. O desenho e a implementação da Especialização em Gestão de Serviços de Água Potável, mencionada em vários trechos deste trabalho, foi a via executiva escolhida para introduzir mudanças no território. Essa estratégia fortalece, em segundo plano, a adoção de metodologias sistêmicas que permitam construir, de forma participativa, bases confiáveis para a atuação no setor.

*De que forma a responsabilidade geográfica dos serviços de abastecimento de água proposta pela norma ISO 24500 contribuiria com as políticas públicas do setor?*

Se pensarmos na lógica da política, ela tende a responder aos “reclames” (necessidades) dos usuários apenas quando estes os expressam formalmente. O desejável, no entanto, é a mudança das normativas locais, ampliando não apenas o alcance geográfico, mas também o próprio conceito de serviço de água potável, entendendo-o como um sistema heterogêneo que garanta um padrão equitativo de atendimento para todos.

O CEGELAH avançou nesse sentido ao construir canais de comunicação por meio dos planos de melhoria elaborados no âmbito da Especialização<sup>14</sup>, com o desenvolvimento de indicadores que permitam visualizar a relação entre os prestadores e os usuários. Especificamente, a norma ISO-IRAM 24510 trata desses vínculos.

Para implementar essa responsabilidade geográfica, uma via possível seria a atuação do Estado (município ou comuna), propondo soluções tecnológicas alternativas: por exemplo, perfurações de menor escala (ainda que custosas), aproveitamento de fontes alternativas como a água da chuva, ou a instalação de sistemas eletrônicos para o monitoramento remoto da qualidade da água, entre outras possibilidades.

*Com o exemplo de Liwa, aponta-se uma lacuna importante quanto à construção de modelos em que os principais atores implicados no sistema estudado participem. Como isso poderia ser aplicado à realidade das pequenas e médias localidades, por exemplo, na Argentina?*

Neste contexto, não existe uma cultura técnica consolidada de ordenamento territorial em geral, tampouco no setor da água em particular, que incorpore a formulação de modelos locais de simulação capazes de gerar previsões confiáveis — e, a partir delas, construir cenários e estratégias baseadas em evidências verificáveis. A principal lição do exemplo de LIWA é que isso é possível: não apenas sua utilização, mas também a incorporação, por meio de metodologias sociais adequadas, do conhecimento empírico, da observação e da sabedoria de grupos sociais que podem oferecer contribuições significativas nesse campo.

Para tanto, será necessário também abandonar preconceitos que fragmentam e isolam os saberes. A academia tem um papel fundamental nesse processo. A modesta contribuição do CEGELAH, por exemplo, é representada pela disciplina TICs orientadas à planificação local estratégica, concebida no âmbito do curso de Licenciatura em Sistemas da Faculdade de Ciência e Tecnologia. Trata-se de um espaço no qual os alunos buscam articular seus conhecimentos técnico-informáticos com as necessidades reais das localidades da província, especialmente no que se refere à produção de informação para uma gestão sustentável da água.

*Chama atenção, no ponto anterior, o quão heterogê-*

*neo seria trabalhar com conhecimentos provenientes de fontes tão diversas. Como conciliar o rigor do conhecimento científico com aquele que deriva da idoneidade e da experiência prática?*

Sem dúvida, trata-se de um gargalo importante: conciliar em um único modelo saberes oriundos de diferentes disciplinas do conhecimento. A metodologia sistêmica — neste caso, a proposta por Antonio Caselles Moncho, da Universidade de Valência, uma autoridade no uso da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) como metodologia científica — é um exemplo de que essa conciliação é possível. Da mesma forma, o já mencionado exemplo de Liwa mostra até que ponto é viável a convergência de conhecimentos provenientes de distintas fontes.

Mais ainda, existe um ponto em comum entre ambos os processos de formulação de modelos. Antonio Caselles propõe não apenas a incorporação de funções matemáticas como componentes explicativos das inter-relações entre variáveis, mas também a inclusão de expressões lógicas simples, que podem muito bem traduzir observações empíricas trazidas por pessoas idôneas como contribuição à construção do modelo.

Um exemplo artificial aplicável ao caso: em localidades que não dispõem de dados sobre uma bacia local, pode-se afirmar que “se choverem ‘n’ milímetros na região dos banhados, o curso do arroio que passa por nossa comunidade chegará ao ponto ‘p’”. Para chegar a esse tipo de expressão, é imprescindível o suporte de um processo participativo, com atores sociais representativos e pertencentes ao sistema em questão, falando uma linguagem comum e com metodologias que permitam alcançar componentes confiáveis e resultados devidamente testados.

*O conceito de “cadeia de valor”, oriundo do campo do desenvolvimento econômico, aplicado ao setor da água, é de fato inovador. Existem instâncias institucionais que favoreçam sua construção?*

A carência de recursos humanos especializados nas diversas funções do Ciclo Urbano-Rural da Água é um déficit agudo na província. Esse problema comum às localidades sugere que a solução pode emergir por meio de mecanismos permanentes de comunicação e resolução. Um espaço propício encontrado para a construção dessa cadeia de valor são as microrregiões. Na área apresentada na Figura 8, foi recentemente constituída a MiCra, Microrregião Crespo e Aldeias, que obteve sua personalidade jurídica no final de agosto de 2023. Isso oferece a todos os atores do território uma instância para identificar problemas e definir objetivos comuns relacionados ao CU-RA, além de compartilhar capacidades técnicas e organizativas para atingi-los.

*Poderia ser apresentado outro exemplo de ausência de elos na cadeia de valor da água?*

Um elo crítico adicional é a ausência de serviços que solucionem situações de contingência hídrica. Isso se evidencia particularmente no verão, nas pequenas aldeias. Crespo é o centro de uma zona de produção avícola, e muitas das aldeias integrantes da MiCra dependem do fornecimento de água realizado pelo município. No entanto, durante a estação estival, surge um conflito de interesses: quanto da água disponível deve ser destinada ao consumo humano e quanto ao consumo animal. Neste contexto, vislumbra-se, por exemplo, a atuação de empresas privadas que possam construir perfurações específicas para abastecer o consumo animal.

*O CEGELAH pôde verificar empiricamente a conveniência das medidas voltadas à sustentabilidade do CUIRA?*

Como evidência empírica, são apresentados os casos das cidades de Crespo e Nogoyá. No momento em que foram realizados os estudos diagnósticos, as principais demandas dos moradores diziam respeito à intermitência do serviço e à falta de pressão na rede em setores específicos. Por outro lado, internamente nas duas prefeituras, o problema prioritário era a quebra das eletrobombas e o elevado e crescente custo energético de funcionamento. Avançou-se com uma medida de eficiência hidroenergética controlável pelos próprios serviços municipais: a automatização e o fortalecimento dos sistemas de bombeamento. Após a aplicação das melhorias na prefeitura de Crespo, registrou-se uma redução de 8% nos meses de julho e agosto entre os períodos de 2011 e 2012; o mesmo efeito foi observado na prefeitura de Nogoyá durante o mês de setembro entre os mesmos anos. Com relação às quebras das eletrobombas em Nogoyá, propôs-se avaliar os gastos com reparos, o que resultou em um valor aproximado de \$70.000 em 2009, com redução significativa para menos de \$20.000 em 2011. Com essa confiança nos resultados, é possível seguir avançando, por exemplo, na gestão de vazamentos, para então desenvolver uma política de gestão da demanda que envolva uma maior quantidade de atores sociais<sup>15</sup>.

*Foi possível registrar o impacto de modelos de simulação aplicados à gestão local da água?*

Não para modelos da amplitude apresentada, já que o mais avançado, exposto pontualmente neste artigo, ainda precisa ser validado. No entanto, o CEGELAH participou e promoveu localmente o uso de modelos de simulação, embora esses se limitem ao uso do simulador de comportamento de uma rede de abastecimento de água, o EPANET, amplamente conhecido no campo da hidráulica urbana (Experiências de Serviço a terceiros, Nogoyá). É bastante ilustrativo comparar uma prática rotineira dos serviços locais de distribuição de

água, como a concessão de permissões de acesso para novos usuários às redes de distribuição. A aptidão dos sistemas de distribuição para admitir novos usuários é um fator dinâmico que, sem simulação, exigiria estudos custosos e a necessidade de profissionais especializados para realizá-los. A disponibilidade de um simulador como o EPANET, calibrado e com pontos de entrada de informação que permitam atualização periódica do modelo, representaria a possibilidade de dispor, em tempo real, de informações confiáveis e gratuitas para fornecer aos novos usuários condições precisas de serviço e, portanto, recomendações técnicas para o projeto de instalações hidráulicas que garantam um consumo confiável.

*Das duas experiências internacionais (LIWA e Mancomunidades na Espanha), que lições poderiam ser aplicadas à Província de Entre Ríos?*

Ambas são passíveis de replicação, desde que partam de iniciativas e lideranças concretas. Concretamente, a partir das ações do Centro, a realização das duas primeiras turmas da Especialização em gestão sustentável de serviços de água, com a participação de sete municípios<sup>16</sup>, representou um pontapé inicial para instaurar uma linguagem comum baseada em evidências, como a construção de Indicadores de Desempenho (ID) dentro da lógica padronizada da norma ISO 24500. A construção de indicadores confiáveis constitui a base para futuras iniciativas de modelagem participativa. Por outro lado, a aliança que o CEGELAH firmou recentemente com o Conselho Regulador das Fontes de Água da Província (CORUFA) busca construir espaços de consenso baseados em evidências locais e nos grandes consumidores produtivos, com o objetivo de operacionalizar o que já está legislado (Lei das Águas) no que diz respeito à gestão integrada de bacias hidrográficas. Na hora de regulamentar efetivamente o território por meio do consenso, isso permitirá inserir os atores urbanos e rurais da água em práticas de uso eficiente e em estratégias associativas que possibilitem a redução dos custos das tecnologias prioritárias a serem implementadas.

*Para introduzir essa visão proposta, reconheceu-se que falta liderança. Quem seriam os atores-chave para impulsionar essas mudanças?*

A conhecida estratégia “Pensar globalmente e agir localmente” está presente nesse ponto. Portanto, as ações em campo (nível local) não podem permanecer isoladas sem também considerar o nível superior, o provincial. Assim, os municípios e cooperativas responsáveis pelos serviços são atores indispensáveis. Na província de Entre Ríos, o nível provincial está representado pela Obras Sanitárias de Entre Ríos e pela Direção de Hidráulica. Outro ator responsável na escala das bacias hidrográficas é o CORUFA. Graças à aliança menciona-

da anteriormente, também estão sendo iniciadas abordagens de sustentabilidade voltadas a grandes usuários, começando pelo setor agropecuário — tema ainda em estágio inicial. Por fim, destaca-se a academia, que dispõe de um amplo leque de "know-how". Dentro dela, o CEGELAH é um centro da Universidade Autônoma de Entre Ríos, com presença em todo o território provincial — uma vantagem ainda não suficientemente aproveitada. Quanto a outras instituições, nos últimos anos houve avanços em trabalhos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em parceria com outras universidades, como a Universidade Nacional de Entre Ríos, e também com organismos de P&D como o Instituto Nacional de Tecnologia Industrial (INTI). Na prática, esta é a visão vigente sobre esse aspecto.

*Dada a relevância dos decisores políticos na operacionalização de ações, que linguagem se considera adequada para inseri-los na abordagem proposta?*

O CEGELAH experimentou três estratégias que se mostraram eficazes para envolver decisores políticos na gestão sustentável da água. A primeira baseia-se em um linguajar da "conveniência" econômica e política, centrado na economia de recursos públicos, especialmente na redução dos gastos energéticos relacionados ao bombeamento de água (como evidenciado nas medidas de eficiência hidroenergética). A segunda aposta na redução da conflitualidade social provocada pela má qualidade do serviço, por meio, por exemplo, da implantação de sistemas de alerta precoce sobre as condições dos poços em operação e da adoção de normas IRAM voltadas à qualidade da água para consumo. A terceira estratégia consiste no desenvolvimento de modelos pedagógicos "ad hoc", com a criação de espaços de aprendizagem voltados à formação de quadros técnicos, profissionais, políticos e comunitários, utilizando a plataforma educacional da universidade. Nessa linha, além da já citada Especialização em gestão sustentável, foi elaborada uma Especialização em gestão cidadã da água (em processo de aprovação), que apresenta de forma prática os princípios da norma ISO 24512, orientada à melhoria dos serviços para os usuários de sistemas de água potável. Também foram oferecidos cursos breves de capacitação em gestão da qualidade da água. A iniciativa mais recente — ainda em desenvolvimento — consiste na estratégia de autoaprendizagem, com cursos autônomos abertos a diversos perfis de usuários (serviços de água, frigoríficos, escolas, produtores agropecuários etc.) para instalação de instrumentos de controle da qualidade da água, articulados a uma rede virtual de assistência técnica remota em escala provincial.

*O modelo de simulação da sustentabilidade do ciclo urbano da água e seu conjunto de equações apresentado no primeiro nível relacional serviu para o planejam-*

*to de ações locais?*

Esta tese doutoral alcançou o nível de construção do modelo, mas ainda não completou sua etapa de validação, situação em que se encontra até o momento. Isso se deve ao fato de que a prioridade do Centro tem sido a implementação, por meio das estratégias já mencionadas, de sistemas de informação capazes de fornecer dados e indicadores compatíveis com modelos como o proposto para a sustentabilidade do ciclo urbano da água.

*Seria possível concretizar exemplos de aplicação dos quatro níveis relacionais apresentados?*

A formulação desses quatro níveis relacionais teve como propósito principal apresentar um horizonte possível. Possível porque o Centro está trabalhando nesse sentido e, por meio das estratégias delineadas e alianças estabelecidas, definiu prioridades que foram expostas neste artigo como linhas de ação executadas ou em andamento. Não foi possível apresentar dados contundentes, sobretudo porque o CEGELAH é um centro pequeno, inserido em um contexto com muitas limitações. A principal contribuição consiste em compartilhar, com as diversas áreas do conhecimento que o tema da água convoca, a relevância e a pertinência das inter-relações entre esses quatro níveis — caso se aspire a contribuir com políticas adaptativas às mudanças climáticas que garantam o acesso à água para todos os atores envolvidos, não apenas em termos de quantidade e qualidade, mas também com equidade.

*Romper com as inércias institucionais é custoso. Existiriam algumas diretrizes para enfrentá-las?*

Para romper tal inércia, a título ilustrativo e a partir da perspectiva deste Centro de I+D+T, foram identificadas algumas linhas de ação possíveis:

- Mudanças na legislação vigente, de modo a fortalecer a capacidade de um organismo central com poder de polícia no território, responsável pela medição de padrões de serviço/provisão de água e pela assistência técnica a todos os atores demandantes (urbanos, industriais e agropecuários), com foco no uso eficiente e na redução de contaminantes lançados em corpos d'água superficiais e subterrâneos.

- Financiamento das ações de melhoria, com ativação dos fundos já previstos na Lei Provincial de Águas nº 9172, que, em seu Capítulo XX, estabelece a criação do Fundo Provincial de Águas, destinado em grande parte ao financiamento de atividades de I+D+T neste campo.

- Formação de quadros técnicos e profissionais com responsabilidades regionais, aptos a prestar assistência técnica a todos os atores demandantes de água em todo o território, para uma gestão sustentável.

- Iniciativas de incubação de empreendimentos de base tecnológica, voltadas ao apoio dos principais ato-

res demandantes de água em suas práticas de gestão sustentável.

- Capacitação de tomadores de decisão locais e de suas equipes de governo para o planejamento do setor de água e saneamento, com caráter participativo, envolvendo todos os setores demandantes de água e os prestadores de serviços afins, com base em evidências.

## CONCLUSÕES

Em primeiro lugar, a apresentação descritiva desses quatro níveis relacionais constitui, como já mencionado, uma contribuição à proposta de Luca Fiorani de construir um novo paradigma para o desenvolvimento sustentável, o da Sustentabilidade Relacional<sup>17</sup>. Os autores concordam com os traços gerais dessa proposta e a complementam com maior especificidade ao aplicar os quatro níveis relacionais ao ciclo urbano-rural da água.

Os dois primeiros níveis apresentam aspectos metodológicos para o enfrentamento da complexidade, característica distintiva do desenvolvimento sustentável. Os autores concordam com o destaque que Fiorani dá ao “relacional”, ou seja, à compreensão de que não se pode conhecer a complexidade a partir de seus componentes isoladamente, mas sim por meio de suas inter-relações. Isso já havia sido proposto oportunamente pelo pensamento sistêmico, o que demonstra a atualidade dessa abordagem científica. Embora Fiorani também defenda a “transdisciplinaridade”, o enfoque sistêmico aqui apresentado propõe, antes, um linguagem comum entre as diferentes disciplinas envolvidas no conhecimento de uma realidade determinada, concebida como um sistema com seus limites e fatores intervenientes claramente definidos. Os autores consideram que o campo da interdisciplinaridade não meramente declaratória, mas sim operativa a partir de uma linguagem compartilhada, ainda tem muito a contribuir na América Latina.

Centrando-se na hipótese inicial, como já se adiantou na seção de discussão, esta ainda não pode ser verificada ou refutada por falta de resultados conclusivos. Foram, no entanto, apresentados indícios de forma honesta, que justificam estudos mais aprofundados, dada a relevância que o enfoque relacional pode ter para a sustentabilidade do ciclo urbano-rural da água.

Como projeção para o futuro, seria muito proveitoso vincular esses aportes ao campo da Cooperação Técnica. Nesse campo, predomina o enfoque do marco lógico na formulação de projetos, os quais representam a expressão final das políticas de um setor específico. No processo de marco lógico (essencialmente participativo), uma das etapas do diagnóstico é a construção de “árvores de problemas”, que, sob a ótica da Teoria Geral dos Sistemas (TGS), correspondem a diagramas causais iniciais — a base lógica dos diagramas de Forrester. Uma linha

- Desenvolvimento de plataformas digitais acessíveis e formuladas de maneira participativa (de acesso público), voltadas a operadores de serviços e grandes usuários de água, para permitir a incorporação simples dos impactos das mudanças climáticas no ciclo hidrológico e o desenho de objetivos de preservação do recurso.

de trabalho de I+D potencialmente muito positiva seria o estudo de casos de projetos que verifiquem, da forma mais sistemática possível, esses diagramas causais ou árvores de problemas como forma de modelar realidades de maneira mais vinculada e contrastada com o real. A aplicação dessa estratégia aos demais níveis relacionais também se revela pertinente para avançar na verificação da hipótese inicial.

Por fim, implantar um enfoque relacional como o proposto exige uma liderança que, na província, ainda não se manifesta de forma clara. O peso da inércia de décadas de postergação no setor da água — com ineficiências substanciais em todos os pontos que compõem o ciclo urbano-rural da água (CU-RA) — representa um desafio para todos os setores envolvidos. Romper com essa inércia e manter-se firme em uma rota clara de transformação é urgente, para que o sofrimento social causado pela escassez de água, pela perda de safras, pela redução da capacidade produtiva e do potencial turístico não leve as comunidades a confrontos típicos em torno de um recurso natural público e escasso — nos quais os mais vulneráveis são sempre os que mais perdem<sup>18</sup>.

Como encerramento esperançoso de que uma mudança nesse campo é possível, vale a pena registrar o seguinte testemunho:

“Lembro-me de quando estávamos implementando o plano de melhorias na prefeitura de Crespo, no ano de 2011. O Sr. Martínez, antigo chefe de Obras Sanitárias do município, sempre demonstrava resistência às inovações: digitalização da rede de água potável!, troca dos painéis elétricos!, de estrela-triângulo para arrancadores inteligentes (soft starter)!, substituição da tubulação metálica por mangueiras para as eletrobombas submersíveis!, instalação de sensores de fases!, pressostatos solares nas linhas!, telemetria!

— Para quê? — dizia ele. — Se do jeito que está nunca faltou água... — sentenciou.

Até que, dois anos depois, ele veio até nosso escritório e disse, com poucas palavras, o impensável: — Isso que vocês fizeram, sim, funciona.

Um verdadeiro bom presságio para o futuro.

## Declaração do autor CRediT

Conceituação: Nudelman, MA. Metodologia: Nudelman, MA. Validação: Nudelman, MA. Análise formal: Nudelman, MA; Bach, FD. Investigação: Nudelman, MA; Bach, FD. Recursos: Nudelman, MA; Bach, FD. Redação – revisão e edição: Nudelman, MA; Bach, FD. Visualização: Nudelman, MA; Bach, FD. Supervisão: Nudelman, MA. Administração do projeto: Nudelman, MA.

Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

## Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram que não têm interesses financeiros concorrentes ou relações pessoais conhecidas que possam ter influenciado o trabalho relatado neste artigo.

## REFERÊNCIAS

1. Senado de la Provincia de Entre Ríos [Sitio web] Cultura del agua en Entre Ríos, Programa provincial- 2022. Puesta en marcha Diplomatura en gestión sostenible de servicios de agua potable. [Consultado el 15 de octubre del 2024]. Disponible en: <https://www.senadoer.gob.ar/2022/05/se-pone-en-marcha-la-diplomatura-en-gestion-sostenible-de-servicios-de-agua-potable/>
2. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) para la Secretaría de Medioambiente de la Nación Argentina. Cambio climático en Argentina, tendencias y proyecciones. 2015.[Publicación web] Consultado el 15 de octubre del 2024. Disponible en: <https://3cn.cima.fcen.uba.ar/docs/3Com-Resumen-Ejecutivo-de-la-Tercera-Comunicacion-Nacional.pdf>
3. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambio climático 2014: Impactos, Adaptación, Vulnerabilidad. 2014. [Publicación web] Consultado el 15 de octubre del 2024. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure\\_es-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure_es-1.pdf)
4. Von Bertalanffy, L. Perspectivas en la teoría general de sistemas. Alianza Universidad. Madrid, España. 1992
5. Nudelman, M. Modelo de simulación de la sostenibilidad del ciclo urbano del agua, aplicable a pequeños municipios de regiones en vías de desarrollo. Tesis doctoral. Valencia, España: Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medioambiente. Universidad Politécnica de Valencia; 2016 - Consultado el 15 de octubre del 2024. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/63460>.
6. Caselles, A. Modelización y simulación de sistemas complejos". Editorial Universitat de València. Valencia, España. 2008
7. Fromm, E. La revolución de la esperanza, hacia una tecnología humanizada. 15ªed., Editorial: Fondo de Cultura Económica. Ciudad de México, México. 2010
8. LIWA Water Project. [Sitio web]. Gestión sostenible del agua y de las aguas residuales en centros de crecimiento urbano afrontando el cambio climático. Conceptos para Lima metropolitana, Perú. 2015. Proyecto de investigación financiado por Federal Ministry of Education and Research, Germany. [Consultado el 15 de octubre del 2024]. Disponible en: <https://www.lima-water.de/es/documents.html?Menu=5>
9. Francisco. Laudato Si. Carta Encíclica del Santo Padre Francisco sobre el cuidado de la casa común. Editorial San Pablo. Buenos Aires, Argentina. 2015
10. IRAM - ISO 24512. Norma Argentina. Directrices para la gestión de entidades prestadoras de servicios de agua potable y para la evaluación de servicios de agua potable. IRAM. [Documento digital]. Argentina. 2011
11. Ferro, G. y Lentini, E. Economías de escala en los servicios de agua potable y alcantarillado. Documento de Proyecto. [Publicación Web]. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Naciones Unidas (CEPAL – ONU). Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania – GTZ. 2010. Consultado el 16 de octubre del 2024. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/78ede21a-bea3-4934-9898-90b115c26717>
12. Mancomunidad del Alto Palancia. [Sitio Web]. Consultado el 16 de octubre del 2024. Disponible en <https://mancomunidaddelaltopalancia.es/>
13. Nudelman, M et. al. Diagnóstico sobre el uso de energía eléctrica en los abastecimientos de agua y saneamiento, Experiencia Piloto en el Municipio de Nogoyá - Informe preliminar dirigido a la Secretaría de energía de Entre Ríos. Oro Verde, Entre Ríos. Centro para la gestión local sostenible del agua y el hábitat humano. Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad Autónoma de Entre Ríos. 2013. Disponible desde el Repositorio digital del CEGELAH: [https://drive.google.com/file/d/13YukT3jHF6iAjzrM\\_Z2I2ePS35AXWE-s/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/13YukT3jHF6iAjzrM_Z2I2ePS35AXWE-s/view?usp=sharing)
14. Universidad Autónoma de Entre Ríos, Consejo Superior. Resolución de aprobación y Programa de la Diplomatura en gestión sostenible de servicios de agua potable dentro del marco de la norma ISO-IRAM 24500. Resol. CS N° 199/22. Paraná, Entre Ríos. 2022. Disponible desde el Repositorio digital del CEGELAH: <https://drive.google.com/file/d/15XkZA8cqodBp-408uAfTh-FmR32nKt9M/view?usp=sharing>
15. Rocca, D. y Bach, F. y. El servicio de agua potable de Nogoyá, un caso de suceso en la transferencia de tecnología Universidad - Municipio. Seminario Iberoamericano de Redes de Agua. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. 27 al 30 de noviembre del 2017.
16. Nudelman, M., Enriquez, H. y Arriola, M. Diplomatura en gestión sostenible de servicios de agua potable: una contribución a la cultura del cuidado del recurso en Entre Ríos. Revista Archivos de Ciencia y Tecnología [Internet]. Vol. I, N° II, Año 2023. Consultado el 10 de abril del 2025. Disponible en: <https://revista.uader.edu.ar/index.php/archivo/article/view/156>
17. Fiorani, L. Happy Planet. Editorial Citá Nuova. Roma, Italia. 2021
18. Von Bertalanffy, L., Ross Ashby, W., Weimberg, G., et.al. Tendencias en la teoría general de sistemas. Alianza Universidad. Madrid, España. 1987

**Como citar este artigo:** Nudelman, M.A., Bach, F.D. (2025). Ciclo urbano-rural da água e saúde ambiental: inter-relações sistêmicas e estratégias para serviços resilientes em contextos de mudança climática. *O Mundo Da Saúde*, 49. <https://doi.org/10.15343/0104-7809.202549e16912024P>. Mundo Saúde. 2025,49:e16912024.