


## NEXUS VITAE: UMA FERRAMENTA METODOLÓGICA PARA GESTÃO DE CONFLITO E COOPERAÇÃO EM RESERVATÓRIOS DE USOS MÚLTIPLOS

 <https://doi.org/10.56238/arev7n2-082>

Data de submissão: 10/01/2025

Data de publicação: 10/02/2025

**Shevine Silva Oliveira Risso**

Doutora em Energia

UFABC – Universidade Federal do ABC

E-mail: [shevine.oliveira@gmail.com](mailto:shevine.oliveira@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2444-6942>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/6347645344801120>

**Patrícia Teixeira Leite Asano**

Doutora em Engenharia Elétrica

UFABC – Universidade Federal do ABC

E-mail: [patricia.leite@ufabc.edu.br](mailto:patricia.leite@ufabc.edu.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2410-3621>

LATTES: [lattes.cnpq.br/5742286307682505](http://lattes.cnpq.br/5742286307682505)

**Fabiana de Oliveira Ferreira**

Doutora em Engenharia Elétrica

Universidade Federal de São Paulo - Campus Baixada Santista

E-mail: [fabianaof@gmail.com](mailto:fabianaof@gmail.com)

ORCID: [orcid.org/0000-0001-7331-8587/](https://orcid.org/0000-0001-7331-8587/)

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/2660499719136795>

**Eduardo Lucas Subtil**

Doutor em Engenharia Civil

UFABC – Universidade Federal do ABC

E-mail: [eduardo.subtil@ufabc.edu.br](mailto:eduardo.subtil@ufabc.edu.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3674-2674>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/5313671069862968>

### RESUMO

O estudo analisa os desafios da gestão integrada de recursos hídricos em reservatórios com demandas diversas, como geração de energia, abastecimento humano, irrigação agrícola e conservação ambiental. Ele destaca como essas demandas podem gerar tensões e conflitos, propondo estratégias de cooperação e compartilhamento de benefícios para mitigar impactos e promover o equilíbrio entre setores. Combinando conceitos teóricos e práticos, o estudo adota uma abordagem inovadora que integra as interações entre água, energia e alimento, incorporando elementos de sustentabilidade e segurança hídrica com o método Transboundary Water Interaction Nexus (TWINS). A simultaneidade entre conflitos e cooperação é analisada para identificar sinergias e trade-offs que orientem uma gestão mais eficiente. A principal contribuição é a metodologia Nexus Vitae, estruturada de análise histórica documental formada por três camadas analíticas — Bronze, Prata e Ouro. A Camada Bronze identifica eventos históricos que moldaram relações de conflito e cooperação. A Camada Prata analisa as fases de gestão do reservatório (planejamento, implementação, operação, monitoramento e ajustes) sob perspectivas social, econômica, tecnológica e ambiental. Por fim a Camada Ouro integra essas análises

em uma matriz de conflito e cooperação, destacando zonas críticas por meio de uma escala de cores. Aplicado ao Reservatório de Sobradinho (2013-2019), um período marcado por seca severa na bacia do Rio São Francisco, o estudo demonstra como uma abordagem integrada pode subsidiar gestores e formuladores de políticas públicas. Além de sua relevância acadêmica, oferece soluções práticas replicáveis em outros contextos, posicionando-se como referência para o planejamento sustentável de bacias hidrográficas em cenários complexos e competitivos.

**Palavras-chave:** Nexo. Água. Energia. Conflito. Cooperação.

## 1 INTRODUÇÃO

O nexó água-energia-alimento conceitualmente refere-se as interações de conexão e dependência que ocorrem entre os sistemas de água, energia e alimentos. Essa abordagem visa entender as complexas interações, compensações e sinergias, uma vez que reconhece que esses três sistemas estão intimamente ligados, de modo que ações deliberadas em um setor podem culminar em impactos significativos nos outros.

No contexto de recursos hídricos compartilhados, o nexó água-energia-alimento pode se apresentar dentro de contextos de conflito e cooperação. O conflito que neste estudo é entendido como um processo que se inicia quando um indivíduo ou grupo se sente negativamente afetado por outra pessoa ou grupo (ROBBINS, 2006), está além de um pequeno acordo ou divergência, configura-se como uma interferência deliberada, seja ela ativa ou passiva, que confere um bloqueio sobre os esforços alheios para alcançar seus objetivos (CHIAVENATO, 2004).

A cooperação como afirmam Sadoff et al. (2009), refere-se às diferentes formas de colaboração para alcançar objetivos comuns ou distintos, mas positivamente relacionados, independentemente de serem ou não os responsáveis pela resolução dos conflitos. Esta quando aplicada nas relações que envolvem os recursos hídricos desempenha um papel fundamental para a formulação de políticas pública, na implementação de ações que visam o seu uso equitativo e sustentável e auxilia na construção da confiança entre os diferentes usuários que compartilham do mesmo.

Assumir que as águas compartilhadas - que apresentam usos múltiplo, são regidas por determinadas relações de conflito ou cooperação, há um alto risco de aceitar que a existência de uma relação indica a inexistência da outra. Por outro lado, supor que ambas possam coexistir constantemente – requer uma mudança na mentalidade, onde a simplificação excessiva do problema das águas compartilhadas pode ser evitada. Logo desenvolver um mecanismo, uma forma de pensar para entender como o conflito e a cooperação coexistem, torna uma forma importante de é possível estudar e como esses fenômenos se manifestam ou são influenciados pelo ambiente (MIRUMACHI et al., 2007).

Dentro da possibilidade de análise de conflito e cooperação, Mirumachi et al. (2015) propõem o *Transboundary Water Interaction Nexus* (TWINS), uma abordagem inovadora que, além de conceituar a natureza dual desses fenômenos, busca interpretar a dinâmica das mudanças e suas interações no contexto das águas compartilhadas. Esse método apresenta uma representação visual na forma de matriz, permitindo visualizar simultaneamente as relações de conflito e cooperação. Além de enfatizar a coexistência dessas dinâmicas, o TWINS questiona estudos tendenciosos que focam

exclusivamente em soluções binárias, demonstrando como essa ferramenta analítica possibilita o desenvolvimento de uma tipologia abrangente das relações hídricas transfronteiriças.

Ampliando essa discussão, Allouche et al. (2014) criticaram a simplificação excessiva das dinâmicas socioambientais nos estudos donexo. Eles ressaltaram a importância de uma abordagem mais inclusiva, essencial para lidar com desigualdades globais e promover justiça ambiental. A equidade no acesso aos recursos, especialmente em regiões severamente afetadas por escassez hídrica e déficit energético, deve ser um princípio norteador. Nesse sentido, a incorporação da sustentabilidade no estudo das interações entre conflito e cooperação torna-se fundamental, pois permite uma visão integrada dos desafios que permeiam o nexoa água-energia-alimento.

A necessidade de aplicar as dimensões da sustentabilidade nas análises de conflito e cooperação fundamenta-se na avaliação de quatro aspectos essenciais: social, econômico, tecnológico e ambiental. Esses pilares refletem a compreensão de que um desenvolvimento verdadeiramente equilibrado só é possível quando todas essas áreas são consideradas de maneira interdependente. Cada dimensão não apenas influencia as demais, mas também desempenha um papel crucial na mitigação de conflitos e na promoção da cooperação entre os atores envolvidos. Com base nesse entendimento, desenvolveu-se a metodologia *Nexus Vitae*, um modelo analítico para a gestão integrada das interações hídricas no nexoa água-energia-alimento em Reservatórios de Usos Múltiplos.

A validação dessa metodologia ocorreu a partir da análise do Reservatório de Sobradinho, operado pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf), que historicamente enfrenta desafios associados à coexistência entre conflito e cooperação. Esses desafios envolvem a disputa pelo uso da água para múltiplas finalidades, como irrigação, abastecimento, transposição, geração de energia, navegação e conservação ambiental. Durante o período de 2013 a 2019, a região do semiárido brasileiro passou por uma severa estiagem, impactando diretamente as operações do reservatório (ANA,2024). A redução das defluências para níveis abaixo da vazão mínima estabelecida gerou disputas entre setores econômicos com interesses divergentes, evidenciando um contexto de poder desigual e práticas clientelistas na gestão dos recursos hídricos. A análise crítica das medidas implementadas pelas agências reguladoras e operadoras durante esse período revelou como ações cautelares podem tanto acirrar conflitos quanto fomentar iniciativas de cooperação.

Nesse contexto, a metodologia *Nexus Vitae* demonstrou seu potencial como ferramenta de análise para compreender e aprimorar práticas de gestão dos recursos hídricos em diferentes níveis. Sua aplicabilidade pode ser ampliada para o âmbito institucional e governamental, contribuindo para soluções integradas e sustentáveis que conciliem os desafios do nexoa água-energia-alimento com a promoção de um equilíbrio entre desenvolvimento e conservação ambiental.

## 2 METODOLOGIA *NEXUS VITAE*

A metodologia para o desenvolvimento do método de análise *Nexus Vitae*, foi desenvolvida para facilitar a compreensão e a gestão de conflitos e cooperação em um Reservatório de usos múltiplos. O *Nexus Vitae* é estruturado em três camadas analíticas — Camada Bronze, Camada Prata e Camada Ouro — cada uma desempenhando uma função específica, como pode ser visto na Figura 1. Cada camada e sua utilização no painel será melhor detalhada a seguir.

**Figura 1.** Camadas de decisão *Nexus Vitae*



Fonte: elaborado pela autora

### 2.1 CAMADA BRONZE - *HISTORICUM MOMENTUM*

A análise metodológica inicia a partir da camada base, a Camada Bronze intitulada de *Historicum Momentum*, pois esta reflete a função essencial dessa camada: capturar e destacar os momentos históricos decisivos que moldam a trajetória da gestão de um Reservatório de uso múltiplo. Na prática, o *Historicum Momentum* permite que se analise não apenas o impacto direto dos eventos passados, mas também os contextos que levaram a conflitos, adaptações e a formas de cooperação entre eventos que envolvem o Reservatório. Esses momentos, ao serem mapeados e organizados nesta camada, formam a base de uma análise que apoia decisões mais consolidadas, oferecendo uma perspectiva que se estende do passado ao futuro e orienta as demais camadas analíticas do *Nexus Vitae*.

#### 2.1.1 Processo de Análise da Camada *historicum momentum*

- **Levantamento Documental:** a compilação dos dados históricos de Reservatório de usos múltiplos abrange uma ampla análise de documentos e registros que podem revelar eventos críticos fundamentais para a gestão atual e futura. É interessante identificar, dados sobre sua construção, incluindo planejamentos iniciais, custos, financiamento, estudos de impacto ambiental e as

expectativas setoriais envolvidas no projeto. Além disso, episódios de inundações e secas são particularmente relevantes, pois permitem mapear os impactos ambientais e sociais causados pelas variações climáticas e a forma como as demandas e os demandantes relacionados ao Reservatório responderam a essas pressões ao longo do tempo. Outros aspectos de interesse incluem conflitos sociais e institucionais, que podem surgir de questões de alocação de água, impacto nas comunidades locais, ou tensões entre setores como agricultura, geração de energia e saneamento. A documentação de intervenções estruturais, como ampliações, adaptações ou renovações tecnológicas, também fornece uma visão sobre as mudanças nas necessidades e prioridades do Reservatório. Ao compilar esses dados, é possível não apenas compreender os eventos que definiram a trajetória do mesmo, mas também identificar padrões e estratégias que foram eficazes ou problemáticos.

- **Identificação dos Impactos:** para cada evento levantado, é registrado o seu efeito, buscando fornecer assim, um contexto abrangente para cada impacto documentado, como registros dos efeitos sobre as comunidades locais, no ecossistema, e nos diversos usos do Reservatório, a partir de fontes documentais, podem ser identificados marcos críticos que afetaram as relações de demandas e gestão ao longo do tempo. Fornecendo assim um panorama claro de como o Reservatório evoluiu e dos desafios enfrentados.

- **Estruturação dos dados:** após o levantamento documental e da ordenação dos eventos do Reservatório, os dados de entrada deverão seguir a estrutura demonstrada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Estruturação para entrada dos dados no painel Nexus Vitae.

| Ordenação | Ano | Evento | Efeito Primário |
|-----------|-----|--------|-----------------|
| 0         |     |        |                 |
| 1         |     |        |                 |
| ...       | ... | ...    | ...             |

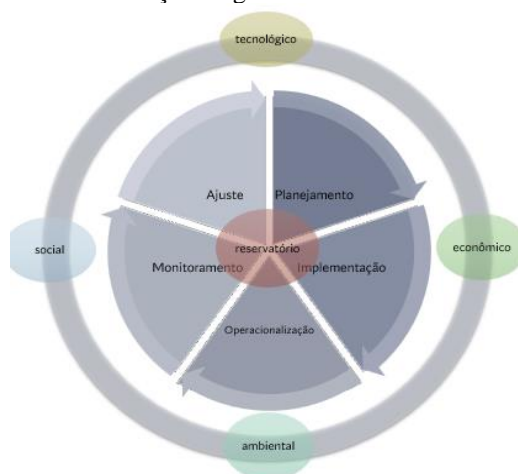
**Fonte:** elaborado pela autora

Esse arquivo estruturado, garante que a análise dos dados históricos seja consistente e aproveitável nas camadas subsequentes, como a Camada Prata e a Camada Ouro. Dessa forma, a Camada Bronze não apenas documenta o passado, mas também permite que as camadas subsequentes tenham um ponto de referência, oferecendo uma compreensão dos desafios e das oportunidades de intervenção com base em experiências passadas. Serve como a base referencial, permitindo que os tomadores de decisão compreendam, de forma sistemática e visual, os desafios enfrentados na gestão do Reservatório ao longo do tempo.

## 2.2 CAMADA PRATA – *SUSTENTATIO CURSUS*

A Camada Prata, intitulada *Sustentatio Cursus*, reflete seu propósito central: sustentar um "curso" ou "percurso" contínuo de desenvolvimento sustentável, guiado pela análise de aspectos fundamentais que garantem o equilíbrio e a resiliência no uso do Reservatório. Para esta camada, propõem-se duas etapas, a primeira denominada Dimensão PIOMA, refere-se a um enquadramento inicial realizado para identificar em qual fase o Reservatório se encontrava no momento do evento histórico selecionado, representada na Figura 2, no ciclo interno. Esse ciclo inicial de enquadramento orienta as diretrizes para a segunda etapa – Dimensão de Sustentabilidade - parte externa da Figura 2, na identificação das deficiências e potencialidades de conflito e cooperação.

**Figura 2.** Ciclo integrativo de avaliação da gestão sustentável em Reservatório de uso múltiplo



**Fonte:** elaborado pela autora

A análise detalha como as deficiências em uma ou mais dimensões de sustentabilidade podem elevar o grau de risco de conflitos entre os usuários, ao passo que uma gestão equilibrada e responsável favorece a cooperação. Em cada uma das fases do ciclo, são atribuídos pesos de risco que refletem o impacto das ações (ou a ausência delas) na promoção de um ambiente de cooperação ou tensão. Essa relação com a Camada Bronze fortalece a base de decisões na metodologia *Nexus Vitae*, assegurando que o conhecimento acumulado sirva como guia para uma gestão mais cooperativa e resiliente.

### 2.2.1 Dimensão PIOMA

Composta pelo planejamento, implementação, operação, monitoramento e ajuste, esta dimensão serve como um classificador que facilita a identificação e a contextualização em que o Reservatório de Usos Múltiplos se encontrava em cada evento que foi previamente elencado no *hitoricum momentum* de análise, sua estrutura de análise pode ser vista a partir da Figura 3. Ao



identificar a dimensão PIOMA na fase inicial, facilita categorizar de maneira mais eficaz onde os esforços e ajustes foram mais necessários, seja na fase de planejamento de novas políticas, na implementação de práticas, na operacionalização das rotinas de gestão ou do próprio reservatório, no monitoramento de resultados ou na realização de ajustes para otimização.

Com a PIOMA atuando como um ponto de convergência, a Camada Prata oferece uma sequência de fases que examinam, de forma holística, como cada ação contribui para a cooperação sustentável ou onde representa um risco de conflito, proporcionando um percurso claro para a aplicação das lições históricas em uma gestão equilibrada e cooperativa. Para identificar em qual fase um Reservatório pode estar a partir das documentações, é importante considerar os seguintes aspectos:

**Figura 1. Dimensão PIOMA**



**Fonte:** elaborado pela autora

- 1. Planejamento:** se os registros históricos indicam a definição de bases do projeto e a participação de stakeholders, o reservatório pode ter passado pela fase de planejamento. Para confirmar, é essencial verificar documentos iniciais com metas e estratégias, estudos de viabilidade e impacto ambiental, além de registros de consulta e *feedback* de comunidades, especialistas e órgãos reguladores. Exemplos de documentação: planos estratégicos, relatórios de viabilidade, mapas de riscos e registros de reuniões de consulta pública.
- 2. Implementação:** Se o histórico destacar a execução das ações planejadas, o reservatório pode estar na fase de implementação. Para identificar, verifique registros que confirmem a aplicação das estratégias de sustentabilidade e examine relatórios de construção que



evidenciem práticas tecnológicas sustentáveis ou medidas de mitigação de impacto. Exemplo de documentação: relatórios de progresso, registros de cumprimento de normas ambientais, documentação de processos de construção.

**3. Operação:** Se a documentação inclui a rotina de uso e ajustes contínuos, o reservatório pode estar na fase de operação. Para identificar, busque registros de atividades operacionais, documentos que evidenciem adaptações para eficiência e sustentabilidade, e registros de resposta a eventos imprevistos, como secas ou enchentes. Exemplo de documentação: registros operacionais, procedimentos de manutenção, relatórios de adaptação operacional.

**4. Monitoramento:** Se há uma análise sistemática dos impactos, o reservatório pode estar na fase de monitoramento. Para identificar, busque relatórios formais como auditorias e estudos de impacto, verifique processos de monitoramento ambiental, econômico e social, e analise documentos que avaliem os efeitos sobre comunidades e ecossistemas. Exemplo de documentação: auditorias ambientais, monitoramento de qualidade de água, relatórios de impacto social, revisões periódicas.

**5. Ajuste:** Se o reservatório passou por alterações regulares e melhorias sustentáveis, pode estar na fase de ajuste. Para identificar, busque documentos sobre correções baseadas no monitoramento, registros de adaptações a novos desafios e processos de revisão para aprimoramento contínuo da sustentabilidade. Exemplo de documentação: relatórios de melhoria contínua, adaptações operacionais, planos de ação corretiva e documentos de atualização de procedimentos.

Essas diretrizes fornecem uma base para analisar em qual etapa o reservatório de uso múltiplo se encontra. Utilizando documentação histórica de planejamento, construção, operação, monitoramento e ajuste, é possível identificar o estágio atual e entender o nível de integração de práticas sustentáveis em cada fase do ciclo.

### 2.2.2 Dimensão Sustentabilidade

Após a fase da Dimensão PIOMA, esta etapa aprofunda a análise das quatro dimensões de sustentabilidade – social, econômica, tecnológica e ambiental –, examinando como cada uma impacta o risco de conflito e a viabilidade de cooperação no contexto de um reservatório de uso múltiplo. Esse modelo integrado permite uma visão mais abrangente e detalhada dos fatores que influenciam a estabilidade e a dinâmica relacional entre os usuários. Nesta fase de análise, cada dimensão é avaliada individualmente, mas com enfoque na contribuição integrada para a sustentabilidade geral do mesmo.

Isso significa que os riscos são ponderados considerando tanto as características específicas de cada dimensão quanto seu papel no sistema maior.

Cada evento do Reservatório é examinado dentro das quatro dimensões de sustentabilidade. Para cada evento, um peso será atribuído a cada dimensão, considerando as práticas aplicadas em suas fases de planejamento, implementação, operacionalização, monitoramento e ajuste. A ausência ou deficiência dessas ações em uma determinada dimensão aumenta o peso de risco, sinalizando uma maior predisposição a tensões e conflitos entre os envolvidos. Considera-se então que dimensões sustentáveis com valor do peso maior indicam uma maior probabilidade ao surgimento de conflitos e barreiras à cooperação, enquanto dimensões com menor peso refletem uma maior estabilidade e cooperação entre os envolvidos. Em cada dimensão serão atribuídos pesos conforme sua situação em relação à sustentabilidade, sendo:

- 0 - Baixo risco:** indica estabilidade e cooperação entre os usuários, sinalizando que as práticas sustentáveis são bem estabelecidas e que há uma baixa probabilidade de surgimento de conflitos.
- 1 - Médio risco:** representa um potencial moderado de conflito, sugerindo que algumas ações sustentáveis podem estar insuficientemente implementadas ou carecem de continuidade, elevando levemente o risco de tensão.
- 2 - Alto risco:** aponta uma forte ausência ou deficiência de práticas sustentáveis, destacando uma predisposição elevada para conflitos e uma baixa capacidade de cooperação.

A somatória desses pesos em cada evento histórico gera um subtotal que reflete no grau de conflito e cooperação associado a esse evento, como exemplificado na Figura 4, e assim esta camada será então consolidada na camada Ouro.

**Figura 4.** Camada Prata – seus respectivos pesos e subtotais de riscos de conflito e cooperação

| <i>Sustentatio Cursus</i> |                           |   |                |                  |
|---------------------------|---------------------------|---|----------------|------------------|
| dimensão PIOMA            | dimensão sustentabilidade |   | risco conflito | risco cooperação |
| verificação               | social                    | 2 | 6              | 4                |
|                           | tecnológico               | 1 |                |                  |
|                           | econômico                 | 2 |                |                  |
|                           | ambiental                 | 1 |                |                  |

Fonte: elaborado pela autora

## 2.3 CAMADA OURO – NEXUS

A Camada Ouro – *Nexus*, representa o nível mais refinado da análise, onde se examina de forma detalhada o potencial de conflito e cooperação entre os diversos *stakeholders* envolvidos na gestão do Reservatório de usos múltiplos. As camadas anteriores complementam essa análise ao

fornecer um aprofundamento nos dados de cada dimensão, permitindo que a identificação dos eventos na matriz de conflito e cooperação nesta camada sejam consolidadas. Esse processo de integração de dados facilita a identificação de áreas que necessitam de intervenção e ajuda na elaboração de estratégias para promover cooperação e mitigar conflitos no contexto de Reservatórios de usos múltiplos.

Nesta camada, cuja proposta é realizar uma validação a partir de uma matriz de conflito e cooperação, este foi elaborada com diferentes níveis de cooperação e de conflito, proporcionando uma visão organizada sobre como esses eventos se distribuem em termos de risco e estabilidade e foram baseados nos estudos do TWINS, que fornece um referencial avançado para a interpretação das interações entre os usuários em regiões onde a gestão de recursos hídricos é compartilhada (MIRUMACHI, 2015). E o seu preenchimento será realizado para cada evento analisado, o que facilita a visualização de padrões e permite uma análise aprofundada das dinâmica entre cooperação e conflito em cada evento estudado.

Para entender onde os valores do evento ficarão posicionados na Matriz, basta cruzar os subtotais de cada evento obtido da Camada Prata e cruzar com os intervalos dos pesos referentes aos eixos de intensidade de conflito e de cooperação (horizontal), como esboçado na Figura 5. A camada Ouro estrutura o entendimento sobre a dinâmica de sustentabilidade em ambientes onde interesses distintos precisam ser conciliados, revelando as áreas com maior propensão a tensões e aquelas com maior potencial de colaboração.

**Figura 5.** Esboço da matriz conflito e cooperação para a camada Ouro – Nexus

|                         |       |                           | INTENSIDADE DA COOPERAÇÃO |                         |                        |                        |
|-------------------------|-------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
|                         |       |                           | BAIXA                     | MÉDIA                   |                        | ALTA                   |
|                         |       |                           | silenciosa<br>(6-7-8)     | exploratória<br>(3-4-5) | estratégica<br>(3-4-5) | responsável<br>(0-1-2) |
|                         |       |                           | historicum<br>momentum    | historicum<br>momentum  | historicum<br>momentum | historicum<br>momentum |
| INTENSIDADE DO CONFLITO | ALTO  | Violado<br>(6-7-8)        |                           |                         |                        |                        |
|                         | MÉDIO | Politizado<br>(3-4-5)     |                           |                         |                        |                        |
|                         | BAIXO | Não politizado<br>(0-1-2) |                           |                         |                        |                        |

Fonte: elaborado pela autora

A análise vai além dos indicadores tradicionais, focando-se em uma leitura aprofundada das condições históricas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais que moldam o comportamento dos *stakeholders* no Reservatório.

### 2.3.1 Definição das Regiões de Conflito na matriz

O processo inicia-se na camada Prata, onde para cada evento avaliado, atribui-se pesos específicos nas dimensões de sustentabilidade. A somatória desses pesos em cada evento gera um subtotal que reflete no grau de conflito e cooperação associado a esse evento. Esses subtotais da camada Prata são, então, utilizados como identificadores da posição exata do evento na matriz de conflito e cooperação da camada Ouro. A matriz organiza-se com intervalos de pesos específicos de intensidade de conflito (no eixo vertical) e de cooperação (no eixo horizontal), estes intervalos da matriz de conflito e cooperação são foram baseados nos estudos de Grünwald et al. (2020) que é uma evolução da proposta metodológica de Mirumachi (2015), que é detalhada a seguir:

- **Regiões de Alto Conflito (6-7-8) | conflito securitizado:** ocorrem quando a soma dos pesos para todas as dimensões (social, econômica, tecnológica e ambiental) se aproxima do valor máximo, indicando uma ausência generalizada de ações efetivas. Nesse cenário, o conflitos ocorrem quando ações extraordinárias, fora dos processos políticos regulares, são adotadas para justificar medidas estratégicas que maximizam benefícios específicos. Em reservatórios de usos múltiplos, isso frequentemente envolve a priorização de interesses como geração de energia ou segurança hídrica, em detrimento de aspectos sociais e ambientais (MIRUMACHI & ALLAN, 2007). Por exemplo, a construção de barragens para geração hidrelétrica pode ser apresentada como essencial para o crescimento econômico e energético, mas resulta em impactos significativos, como desapropriações, perda de terras agrícolas e redução do acesso à água para populações a jusante. Esse tipo de conflito reflete desigualdades no uso e controle dos recursos, com benefícios concentrados em setores específicos e custos sociais elevados para as comunidades mais vulneráveis. A compreensão do conflito securitizado em reservatórios é essencial para propor soluções que promovam uma governança mais equilibrada e mitiguem os impactos negativos dessas decisões estratégicas.

**Critério:** Somatório dos pesos da camada Prata que resultaram entre valores de 6 a 8.

- **Regiões de Médio Conflito (3-4-5) | conflito politizado:** nestas o potencial de conflito é significativo, mas a cooperação ainda pode ser viável mediante ajustes nas dimensões de sustentabilidade. O conflito politizado ocorre, por exemplo, quando interesses divergentes – como abastecimento hídrico, geração de energia e irrigação agrícola – começam a disputar o uso dos mesmos recursos sem que existam mecanismos adequados de alocação ou negociação. Nessa situação, os atores envolvidos, como governos, comunidades locais, setores produtivos e ambientalistas, têm suas necessidades reconhecidas, mas enfrentam desafios para conciliar prioridades de forma equilibrada. Uma característica marcante dessas regiões é o potencial de transformação. Embora o nível de conflito seja significativo, ele ainda está em uma zona intermediária, onde há espaço para negociações e

ajustes. Isso sugere que, com a implementação de estratégias específicas, é possível reverter o cenário para uma cooperação mais efetiva. A transição para níveis mais baixos de conflito e maior cooperação depende da capacidade dos gestores de identificar desequilíbrios e atuar de forma proativa. Assim, as regiões de médio conflito devem ser vistas não apenas como desafios, mas como oportunidades para a construção de sistemas de governança mais resilientes e inclusivos.

**Critério:** Somatório dos pesos da camada Prata que resultaram entre valores de 3 a 5.

- **Regiões de Baixo Conflito (0-1-2) | conflito não - politizado:** é caracterizado por um ambiente de baixa intensidade de conflitos, no qual as ações relacionadas às dimensões de sustentabilidade – social, econômica, tecnológica e ambiental – estão sendo amplamente implementadas de forma eficaz. Nessas condições, o risco de surgimento de disputas entre os usuários do reservatório é reduzido, criando um cenário favorável à cooperação e à gestão compartilhada dos recursos.

**Critério:** Somatório dos pesos da camada Prata que resultaram entre valores de 0 a 2.

- **Regiões Alta Cooperação (6-7-8) | cooperação responsável:** caracteriza-se por um nível avançado de entendimento entre os atores estratégicos, que concordam com procedimentos e ações coordenadas, mas optam por uma cooperação juridicamente não vinculativa. Esse tipo de cooperação, embora não obrigatória, é sustentada por compromissos mútuos baseados na confiança e no interesse compartilhado na gestão sustentável do reservatório. No contexto de reservatórios de usos múltiplos, a cooperação responsável pode ser observada em situações onde os diversos setores usuários – como energia, abastecimento humano, irrigação, navegação e conservação ambiental – convergem para acordos sobre a gestão dos recursos hídricos. Embora a ausência de vínculos jurídicos possa representar um risco para a continuidade e a eficácia dos acordos, a Cooperação Responsável destaca-se por sua flexibilidade e capacidade de adaptação às mudanças contextuais, sendo especialmente útil em reservatórios de usos múltiplos, onde os interesses são diversos e frequentemente conflitantes. Quando bem conduzida, essa abordagem fortalece as bases para futuras cooperações mais robustas e juridicamente vinculativas.

**Critério:** Somatório dos pesos da camada Prata que resultaram entre valores de 6 a 8.

- **Regiões Média Cooperação (3-4-5) | cooperação estratégica:** nessa faixa, a cooperação ainda existe, mas há lacunas moderadas na implementação de ações sustentáveis. Os usuários colaboram em certos aspectos, mas há tensão e a necessidade de ajustes em algumas dimensões. Os atores estratégicos identificam objetivos compartilhados e realizam ações conjuntas, mas detalhes técnicos, administrativos e jurídicos ainda são discutidos em fóruns e reuniões. Representa um estágio intermediário no processo de colaboração entre atores estratégicos, no qual há identificação de

objetivos comuns, mas persistem discordâncias sobre os métodos ou abordagens para alcançá-los. Esse tipo de cooperação se caracteriza pela troca de ideias e negociações frequentes, onde os atores trabalham juntos em ações práticas, mesmo que enfrentem divergências técnicas, administrativas ou jurídicas. Embora a cooperação estratégica denote avanços no diálogo e na realização de ações conjuntas, ela também evidencia a necessidade de mecanismos mais robustos para mediar e resolver discordâncias. A criação de um plano de ação colaborativo com prazos e metas pode ajudar a transformar as diferenças em oportunidades de aprendizado e aperfeiçoamento da gestão do reservatório, promovendo um caminho mais sólido para a sustentabilidade a longo prazo.

**Critério:** Somatório dos pesos da camada prata que resultaram entre valores de 3 a 5.

**Regiões Baixa Cooperação (0-1-2) | *cooperação exploratória*:** caracteriza contextos onde as interações entre os usuários do reservatório são marcadas por tensões e desconfiança, refletindo uma ausência significativa de cooperação. Nessas situações, os fatores que compõem as dimensões da sustentabilidade (social, econômica, tecnológica e ambiental) apresentam falhas severas, resultando em um alto risco de conflito e na dificuldade de implementar ações conjuntas para o uso sustentável dos recursos hídricos. Superar esse nível de cooperação exige esforços estruturais, como a implementação de mecanismos de governança participativa, melhoria das infraestruturas tecnológicas e investimento na recuperação ambiental. Além disso, é crucial promover a inclusão social e o diálogo contínuo, criando condições mínimas para uma transição de interações conflituosas para estágios mais avançados de cooperação.

**Critério:** Somatório dos pesos da camada prata que resultaram entre valores de 0 e 2.

### 3 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA *NEXUS VITAE*

O *Nexus Vitae* é uma metodologia que organiza e propõe uma visualização dos dados históricos sobre temas relacionados aonexo água, energia e alimento, focando na sustentabilidade e nas dinâmicas de conflito e cooperação. A validação da metodologia teve como objetivo avaliar a sua eficácia quanto na captação das dinâmicas de conflito e cooperação inerentes à gestão de recursos hídricos em um sistema tão complexo, por isso foi realizada com base no levantamento histórico do reservatório de Sobradinho, situado na Bacia do Rio São Francisco, uma das regiões mais relevantes para a gestão hídrica no Brasil. Este Reservatório desempenha papel estratégico, atendendo a múltiplos usos, como geração de energia hidrelétrica, irrigação agrícola, abastecimento humano e conservação ambiental. Entretanto, o manejo desses usos frequentemente resulta em conflitos entre os diversos setores envolvidos, especialmente quando na sua construção, e em períodos de escassez hídrica, como os vivenciados entre 2013 a 2019 (ANA,2022).

Baseando-se dos dados históricos, foram analisados eventos críticos sob a ótica do nexo água-energia-alimento, evidenciando como decisões regulatórias e operacionais impactaram os diferentes atores e setores. Os resultados obtidos reforçam a relevância do método como ferramenta de apoio à decisão, capaz de fornecer *insights* valiosos para gestores e formuladores de políticas públicas, promovendo a cooperação entre os diversos usuários e mitigando potenciais conflitos.

### 3.1 ESTRUTURA DOS DADOS DE ENTRADA

Para iniciar a aplicação da metodologia de análise por camadas, foi iniciado pela camada Bronze - *historicum momentum*, nesta foi utilizado um arquivo de entrada em formato .csv, que deve seguir uma estrutura de quatro colunas e os dados inseridos devem estar padronizados conforme descrito a seguir, e representados no Quadro 1. Com os dados do levantamento histórico do Reservatório de Sobradinho, foram elencados os eventos mais relevantes que permearam riscos de conflito e cooperação, desde a construção do Reservatório até o último evento relacionado à escassez hídrica. Esses eventos foram definidos a partir do levantamento histórico utilizado para validação do painel.

1. **Ordenação:** Esta coluna define a sequência dos eventos. Recomenda-se o uso de uma numeração incremental (por exemplo, 1, 2, 3, ...) para que os dados sejam exibidos de forma ordenada, especialmente para visualizações temporais.
2. **Ano:** Esta coluna contém o ano de ocorrência do evento. Ela permite filtrar e agrupar os dados por período, facilitando a análise cronológica dos eventos.
3. **Evento:** Esta coluna descreve uma breve descrição do evento, fornece o contexto para o usuário sobre o que aconteceu em cada ponto do tempo. A clareza e objetividade nos textos nesta coluna são essenciais para que o usuário compreenda rapidamente o que cada evento representa.
4. **Efeito Primário:** Esta coluna identifica o efeito principal ou o impacto mais relevante que o evento causou. Ela permite categorização adicional dos eventos, o que ajuda na análise de padrões de impacto. Esta coluna pode conter dados textuais curtos ou códigos de categorias, dependendo do nível de detalhamento desejado.

**Quadro 1.** *Historicum momentum* – estrutura para entrada dos dados no Painel

| Ordenação | Ano  | Evento                     | Efeito Primário                   |
|-----------|------|----------------------------|-----------------------------------|
| 0         | 1970 | Construção do Reservatório | Produção de energia hidroelétrica |
| 1         | 1976 | Desapropriações            | Enchimento do reservatório        |
| 2         | 1976 | Inundações de áreas        | Enchimento do reservatório        |



|   |      |                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---|------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 | 1979 | UH Sobradinho inicia a operacionalização | Geração de energia elétrica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 4 | 1984 | Estiagem prolongada                      | Recuo das margens / falta de água para consumo e irrigação / impactos na lavoura                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 5 | 2013 | Escassez hídrica                         | Resolução nº 442/2013: Primeira grande medida para redução da vazão mínima de 1.300 m³/s para 1.100 m³/s, marcando o início de adaptações hídricas frente à escassez severa.                                                                                                                                                                              |
| 6 | 2015 | Escassez hídrica                         | Resolução nº 713/2015: : Estabeleceu o limite de 900 m³/s como novo patamar mínimo, válido até o final de 2015. Esta mudança foi uma resposta à continuidade das baixas precipitações na bacia. / problemas na navegação (trecho entre Sobradinho e Juazeiro), captações industriais /em tomadas d'água para abastecimento de água /em projetos agrícolas |
| 7 | 2016 | Escassez hídrica                         | Resolução nº 1.283/2016: Permitida a defluência de 700 m³/s até março de 2017, uma das menores registradas na época. A medida incluiu monitoramento ambiental rigoroso para avaliar os impactos.                                                                                                                                                          |
| 8 | 2017 | Escassez hídrica                         | Resolução nº 1.291/2017: Autorizou o patamar mais baixo até então, de 550 m³/s, adotado de maneira contínua a partir de outubro de 2017. Esta decisão considerou o agravamento da seca e visou garantir o volume mínimo nos reservatórios.                                                                                                                |
| 9 | 2019 | Escassez hídrica                         | Resolução nº 90/2018: Renovou a autorização de vazão mínima, de 550 m³/s, com ênfase no monitoramento contínuo das condições hídricas.                                                                                                                                                                                                                    |

Fonte: elaborado pela autora

Na camada Prata - *sustentatio cursus*, foi realizada a análise individual para cada evento, onde foram inicialmente enquadrados na respectiva dimensão PIOMA e posteriormente baseado nas justificativas fundamentadas pelas releituras documentais, foram aplicados os seus respectivos pesos na dimensão Sustentabilidade. As justificativas das atribuições dos pesos na dimensão Sustentabilidade em cada evento estão contidas no Quadro 21. Para cada dimensão da sustentabilidade foi atribuído apenas um único peso. Na Figura 6, é apresentado a evolução da análise em camadas, já agregando a camada Bronze e Prata sendo preenchidas a partir de extensas releituras documentais, e sendo validadas, pode ser visto os valores consolidados de cada dimensão e a somatória referente aos pesos para dimensão de conflito e cooperação.

**Quadro 2.** Justificativas dos pesos da dimensão Sustentabilidade para cada evento.

| Ordenação | Dimensão PIOMA                                                                                                                                                         | Dimensão Sustentabilidade – atribuição dos pesos e justificativas                                                                                        |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                  |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           |                                                                                                                                                                        | Ambiental                                                                                                                                                | Econômica                                                                                                                                                  | Social                                                                                                                                                    | Tecnológica                                                                                                                                                      |
| 0         | <b>Planejamento</b><br>fase inicial de idealização e concepção do projeto. Este período foi marcado por estudos técnicos, ambientais e socioeconômicos que embasaram a | <b>Peso 2:</b> A inundação de uma vasta área causou impactos significativos no ecossistema local, incluindo a perda de habitats naturais e alterações na | <b>Peso 2:</b> O projeto impulsionou o desenvolvimento regional, promovendo a geração de energia, mas também trouxe custos associados à gestão de impactos | <b>Peso 2:</b> A construção implicou no deslocamento de comunidades locais, gerando desafios sociais complexos, como a perda de terras, reassentamentos e | <b>Peso 1:</b> A implementação de tecnologia para a construção do reservatório foi significativa para a época, mas representou um avanço moderado no contexto da |

|   |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                  |                                                                                                                     |                                                                                                                             |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | decisão de construir o reservatório.                                                                                                                   | dinâmica hídrica do rio.                                                                                                                               | ambientais e sociais.                                                                                                                            | mudanças no modo de vida tradicional.                                                                               | engenharia hidráulica, considerando os padrões do setor.                                                                    |
| 1 | <b>Implementação</b><br>O evento reflete as ações práticas para viabilizar o projeto, incluindo reassentamentos e adequação da área alagada.           | <b>Peso 2:</b> Impacto significativo devido à remoção de vegetação nativa e perda de biodiversidade.                                                   | <b>Peso 2:</b> Custos altos relacionados às desapropriações e reassentamentos.                                                                   | <b>Peso 2:</b> Grande deslocamento de populações locais, causando perdas culturais e desafios socioeconômicos.      | <b>Peso 1:</b> Baixa inovação técnica envolvida; processo já estabelecido para projetos dessa escala.                       |
| 2 | <b>Implementação</b><br>A inundação é parte do processo direto de implementação do reservatório, com impactos imediatos no ambiente e nas comunidades. | <b>Peso 2:</b> Destruição de habitats, mudanças no ciclo hidrológico local e aumento de emissões de metano devido à decomposição de biomassa inundada. | <b>Peso 1:</b> Custos indiretos relacionados às áreas alagadas, incluindo perda de terras produtivas.                                            | <b>Peso 2:</b> Deslocamento adicional e efeitos indiretos sobre comunidades adjacentes às áreas inundadas.          | <b>Peso 1:</b> O processo de enchimento segue padrões técnicos convencionais.                                               |
| 3 | <b>Operação</b><br>Este evento marca o início das atividades regulares do reservatório para geração de energia, atendendo aos objetivos planejados.    | <b>Peso 1:</b> Impacto ambiental residual; operação estabilizada após os eventos de construção.                                                        | <b>Peso 1:</b> Contribuição econômica significativa pela produção de energia elétrica, porém pouco se refletiu a melhoria da economia na região. | <b>Peso 1:</b> Benefícios indiretos com a geração de energia, mas sem impacto direto imediato sobre as comunidades. | <b>Peso 0:</b> Representa um marco tecnológico para a época, consolidando a geração hidrelétrica em larga escala no Brasil. |

**Fonte:** elaborado pela autora.

**Quadro 2.** Justificativas dos pesos da dimensão Sustentabilidade para cada evento - continuação.

| Ordenação | Dimensão PIOMA                                                                                                                                                 | Dimensão Sustentabilidade – atribuição dos pesos e justificativas                                                   |                                                                                                      |                                                                                                                 |                                                                                     |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|           |                                                                                                                                                                | Ambiental                                                                                                           | Econômica                                                                                            | Social                                                                                                          | Tecnológica                                                                         |
| 4         | <b>Monitoramento</b><br>A estiagem prolongada exige acompanhamento contínuo para mitigar seus efeitos e ajustar as operações do reservatório                   | <b>Peso 2:</b> Redução da biodiversidade aquática e aumento da exposição do solo nas margens, resultando em erosão. | <b>Peso 2:</b> Perdas significativas na produção agrícola e aumento nos custos de captação de água.  | <b>Peso 2:</b> Prejuízos para as comunidades rurais, que enfrentaram escassez de água para consumo e irrigação. | <b>Peso 2:</b> Soluções tecnológicas pouco exploradas para mitigar os impactos.     |
| 5         | <b>Ajuste</b><br>Este evento caracteriza uma situação de crise, onde ações emergenciais foram necessárias para adequar a gestão hídrica às condições extremas. | <b>Peso 2:</b> Redução do volume útil do reservatório, impactando a fauna e flora aquáticas.                        | <b>Peso 2:</b> Redução na geração de energia e prejuízos em atividades econômicas associadas à água. | <b>Peso 2:</b> Afetou comunidades dependentes da água para consumo e agricultura.                               | <b>Peso 1:</b> Soluções para escassez ainda limitadas; medidas paliativas adotadas. |

|   |                                                                                                                                                          |                                                                                                  |                                                                                                          |                                                                                                                        |                                                                                            |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6 | <b>Ajuste</b><br>Medidas emergenciais para reduzir a vazão visaram atender às condições hidrológicas e minimizar os impactos da escassez.                | <b>Peso 2:</b> Impactos na navegabilidade e nos ecossistemas aquáticos do São Francisco.         | <b>Peso 2:</b> A agricultura e a indústria enfrentaram perdas significativas devido à restrição hídrica. | <b>Peso 2:</b> Problemas na navegação e captação de água afetaram diretamente comunidades e setores industriais.       | <b>Peso 1:</b> Soluções tecnológicas para mitigação ainda limitadas.                       |
| 7 | <b>Ajuste</b><br>Reduções progressivas de vazão reforçam a necessidade de ajustes operacionais contínuos diante de uma crise prolongada.                 | <b>Peso 2:</b> A restrição severa impactou drasticamente os ecossistemas aquáticos e terrestres. | <b>Peso 2:</b> Prejuízos amplos em setores econômicos dependentes do recurso                             | <b>Peso 2:</b> Escassez aguda afetou comunidades agrícolas e urbanas dependentes da água.                              | <b>Peso 1:</b> Medidas tecnológicas emergenciais ainda insuficientes.                      |
| 8 | <b>Ajuste</b><br>Este evento reflete a continuidade da gestão de crise, com ações voltadas para mitigar os impactos de uma situação hidrológica crítica. | <b>Peso 2:</b> Condições ambientais agravadas devido à redução extrema do nível do reservatório. | <b>Peso 2:</b> Perdas econômicas intensificadas, incluindo aumento de custos energéticos e agrícolas.    | <b>Peso 2:</b> Ampliação dos problemas de abastecimento e irrigação, afetando diretamente o bem-estar das comunidades. | <b>Peso 1:</b> Avanços tecnológicos começaram a ser explorados para mitigação de impactos. |
| 9 | <b>Ajuste</b><br>- Este evento permanecem os ajustes operacionais para lidar com os efeitos prolongados da escassez hídrica.                             | <b>Peso 2:</b> Persistência de impactos ambientais severos, incluindo degradação do ecossistema. | <b>Peso 2:</b> Continuaram os prejuízos econômicos em múltiplos setores devido à crise hídrica.          | <b>Peso 2:</b> Comunidades enfrentaram restrições prolongadas no acesso à água para consumo e produção.                | <b>Peso 1:</b> Uso emergente de tecnologia para monitoramento e gestão hídrica.            |

**Fonte:** elaborado pela autora.

**Figura 6.** Quadro consolidado da camada Bronze e Prata de decisão.

| Historicum momentum                |     |        |                                          | Sustentatio Cursus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                           |                                                 |                  |                    |
|------------------------------------|-----|--------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|------------------|--------------------|
| Ordenação                          | Ano | Evento | Efeito Primário                          | dimensão PCPA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | dimensão sustentabilidade | risco conflito                                  | risco cooperação |                    |
| INÍCIO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO | 0   | 1970   | Construção do Reservatório               | Produção de energia hidroelétrica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | planejamento              | ambiental<br>econômica<br>social<br>tecnológica | 2<br>2<br>2<br>1 | 7<br><br><br>3     |
|                                    | 1   | 1976   | Desapropriações                          | Enchimento do reservatório                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | implementação             | ambiental<br>econômica<br>social<br>tecnológica | 2<br>2<br>2<br>1 | 7<br><br><br>3     |
|                                    | 2   | 1976   | Inundações de áreas                      | Enchimento do reservatório                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | implementação             | ambiental<br>econômica<br>social<br>tecnológica | 2<br>2<br>2<br>1 | <br><br>6<br><br>4 |
|                                    | 3   | 1979   | UH Sobradinho inicia a operacionalização | Geração de energia elétrica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | operação                  | ambiental<br>econômica<br>social<br>tecnológica | 2<br>2<br>2<br>1 | <br><br>3<br><br>7 |
|                                    | 4   | 1984   | Estragem prolongada                      | Recuo das margens / falta de água para consumo e irrigação / impactos na lavoura                                                                                                                                                                                                                                                                          | monitoramento             | ambiental<br>econômica<br>social<br>tecnológica | 2<br>2<br>2<br>1 | <br><br>8<br><br>2 |
| ESCASSEZ HÍDRICA NO RESERVATÓRIO   | 5   | 2013   | Escassez hídrica                         | Resolução nº 442/2013: Primeira grande medida para redução da vazão mínima de 1.300 m³/s para 1.100 m³/s, marcando o início de adaptações hídricas frente a escassez severa.                                                                                                                                                                              | ajuste                    | ambiental<br>econômica<br>social<br>tecnológica | 2<br>2<br>2<br>1 | <br><br>7<br><br>3 |
|                                    | 6   | 2015   | Escassez hídrica                         | Resolução nº 713/2015: Estabeleceu o limite de 300 m³/s como novo patamar mínimo, válido até o final de 2015. Essa mudança foi uma resposta à continuidade das baixas precipitações na bacia / problemas na navegação / trecho entre Sobradinho e Juazeiro, captações industriais / em tomadas d'água para abastecimento de água / em projetos agrícolas. | ajuste                    | ambiental<br>econômica<br>social<br>tecnológica | 2<br>2<br>2<br>1 | <br><br>7<br><br>3 |
|                                    | 7   | 2016   | Escassez hídrica                         | Resolução nº 1.283/2016: Permitida a deflúncia de 700 m³/s até março de 2017, uma das menores registradas na época. A medida incluiu monitoramento ambiental rigoroso para avaliar os impactos.                                                                                                                                                           | ajuste                    | ambiental<br>econômica<br>social<br>tecnológica | 2<br>2<br>2<br>1 | <br><br>7<br><br>3 |
|                                    | 8   | 2017   | Escassez hídrica                         | Resolução nº 1.291/2017: Autorizou o patamar mais baixo até então, de 550 m³/s, adotado de maneira contínua a partir de outubro de 2017. Esta decisão considerou o agravamento da seca e visou garantir o volume mínimo nos reservatórios.                                                                                                                | ajuste                    | ambiental<br>econômica<br>social<br>tecnológica | 2<br>2<br>2<br>1 | <br><br>7<br><br>3 |
|                                    | 9   | 2019   | Escassez hídrica                         | Resolução nº 300/2019: Renovou a autorização de vazão mínima, de 550 m³/s, com ênfase no monitoramento contínuo das condições hídricas.                                                                                                                                                                                                                   | ajuste                    | ambiental<br>econômica<br>social<br>tecnológica | 2<br>2<br>2<br>1 | <br><br>7<br><br>3 |

**Fonte:** elaborado pela autora.

Finalizando com a camada Ouro – *Nexus*, os valores referentes aos pesos aplicados para o Reservatório de Sobradinho, podem ser conferidos na Figura 7, cuja Matriz de Intensidade de Conflito e Cooperação, foi selecionado a posição de cada evento, de acordo com a consolidação dos pesos da camada Prata, em relação aos pesos da matriz de cooperação e conflito. Após registrar todos os eventos na matriz, a visualização final evidenciou onde os eventos históricos se concentram, permitindo verificar a influência da sustentabilidade nas dinâmicas de conflito e cooperação. A matriz apresentada reflete a distribuição dos eventos históricos do Reservatório de Sobradinho, onde há uma concentração significativa de eventos em níveis altos de cooperação e médio de conflito, posicionados na interseção de securitização e cooperação estratégica.

**Figura 2.** Camada Ouro – Nexus: matriz conflito e cooperação.



Fonte: elaborado pela autora

## 4 DISCUSSÃO

A história da gestão hídrica no Nordeste brasileiro revela desafios complexos, moldados pela irregularidade climática e pela coexistência de múltiplos interesses econômicos, sociais e ambientais. Desde os registros históricos das secas no século XVI até os impactos contemporâneos, a Bacia do São Francisco, particularmente em seu maior reservatório, Sobradinho, emerge como um campo de estudo essencial para compreender os efeitos das mudanças climáticas sobre a gestão de recursos hídricos. As operações de redução de vazão, implementadas desde 2013, ilustram uma tentativa de adaptação aos eventos críticos de escassez hídrica, mas também expõem a complexidade das interações entre setores econômicos e usuários dependentes desse recurso vital.

A aplicação da metodologia de análise por camadas *Nexus Vitae*, foi possível investigar como as decisões regulatórias impactaram os diferentes setores envolvidos. Essa ferramenta analítica revela sinergias e *trade-offs* que são frequentemente negligenciados em análises setoriais. Por exemplo, as reduções graduais nas vazões, realizadas pela Chesf, preservaram o sistema elétrico interligado, mas

geraram consequências adversas significativas para a agricultura irrigada, a navegação fluvial e o abastecimento humano em cidades como Petrolina e Juazeiro.

Do ponto de vista social, a redução das vazões exacerbou tensões entre os setores de energia e irrigação, comprometendo colheitas e acarretando perdas econômicas. Segundo os relatórios do CBHSF (2020), o transporte fluvial foi severamente prejudicado, destacando a necessidade de intervenções estruturais, como dragagens e manutenção de canais. Já no campo ambiental, a menor disponibilidade hídrica e as alterações nos padrões de fluxo afetaram a biodiversidade local e a qualidade da água, criando desafios adicionais para gestores e comunidades.

Esse cenário evidencia que as decisões tomadas durante períodos de crise hídrica carecem de planejamento estratégico a longo prazo. A predominância de respostas reativas, baseadas em resoluções emergenciais da ANA e do IBAMA, reforça a percepção de que ainda há lacunas significativas na governança hídrica brasileira. Isso é corroborado por Conti et al. (2013), que destacam a tradição clientelista e a distribuição desigual dos recursos como fatores que perpetuam a vulnerabilidade estrutural no Semiárido.

Apesar dessas dificuldades, o processo de gestão do reservatório de Sobradinho também demonstrou o potencial para a cooperação. Reuniões técnicas promovidas pelo CBHSF, envolvendo atores como a Chesf, irrigantes e comunidades locais, propiciaram a troca de informações e a busca por soluções compartilhadas. O desenvolvimento da metodologia *Nexus Vitae*, com suas camadas analíticas, reforçou a capacidade de visualizar de forma integrada os efeitos das decisões sobre diferentes dimensões da sustentabilidade – social, econômica, ambiental e tecnológica.

Esses resultados indicam que a gestão hídrica no Brasil precisa incorporar abordagens holísticas e participativas, alinhadas aos princípios do nexo água-energia-alimento. A experiência em Sobradinho destaca a importância de fortalecer instrumentos de governança, promovendo maior integração entre os diferentes setores usuários e priorizando estratégias de longo prazo que equilibrem demandas conflitantes. Estudos futuros podem explorar a aplicação do método *Nexus Vitae* em outros contextos, ampliando sua relevância como ferramenta para análise e planejamento sustentável em sistemas de usos múltiplos.

#### 4.1 CONSIDERAÇÕES DA APLICAÇÃO DO *NEXUS VITAE* AO RESERVATÓRIO DE SOBRADINHO

Os resultados apresentados revelam uma predominância significativa de eventos históricos localizados nas categorias de "Conflito Securitizado" e "Cooperação Estratégica". Essa configuração indica uma dinâmica marcante no Reservatório de Sobradinho, onde os conflitos são frequentemente

intensificados por decisões emergenciais e centralizadas, enquanto os esforços cooperativos buscam, ainda que parcialmente, mitigar os impactos desses conflitos por meio de ações conjuntas estratégicas.

A predominância do ‘Conflito Securitizado’ reflete situações em que os atores recorrem a medidas excepcionais para lidar com crises, como a escassez hídrica e a necessidade de priorizar certos usos do reservatório em detrimento de outros. Essas medidas, embora eficazes em momentos críticos, geralmente não seguem processos amplamente participativos, o que pode aumentar a tensão entre os setores impactados. No contexto do Reservatório de Sobradinho, isso se manifesta em eventos como a redução de vazões mínimas para geração de energia, que frequentemente afetam negativamente o abastecimento urbano, a irrigação e a navegação. Esses conflitos emergem principalmente da incapacidade de atender simultaneamente às demandas ambientais, sociais e econômicas, especialmente em cenários de seca prolongada. O caráter securitizado dessas ações evidencia que, em períodos de estresse hídrico, a gestão do reservatório tem priorizado respostas emergenciais e centralizadas, com foco na manutenção de serviços essenciais, como a geração de energia. Contudo, essa abordagem limita o engajamento de atores locais e regionais, reduzindo a possibilidade de soluções integradas e sustentáveis.

A presença expressiva de eventos na categoria de ‘Cooperação Estratégica’ demonstra que, apesar das tensões, os atores envolvidos conseguem identificar objetivos comuns e promover ações conjuntas. No caso do Reservatório de Sobradinho, isso é refletido em práticas como a realização de fóruns intersetoriais, reuniões técnicas e negociações sobre vazões mínimas. Tais iniciativas buscam harmonizar interesses conflitantes, ainda que persistam discordâncias quanto à forma de implementação das medidas propostas. No contexto de Sobradinho evidencia que, embora haja esforços para criar espaços de diálogo e decisões conjuntas, esses processos frequentemente esbarram na complexidade das demandas e na disparidade de poder entre os setores. Isso sugere que, para maximizar os benefícios da cooperação, é necessário fortalecer os mecanismos institucionais e promover uma governança mais inclusiva e participativa.

Os resultados indicam que o Reservatório de Sobradinho opera em uma zona de equilíbrio instável entre conflitos intensos e cooperação estratégica moderada. Essa configuração reflete tanto os desafios estruturais da gestão de usos múltiplos quanto a resiliência dos atores envolvidos em buscar soluções temporárias e contextuais. No entanto, é evidente que a gestão atual carece de mecanismos mais robustos para prevenir conflitos e transformar a cooperação estratégica em cooperação responsável, com compromissos juridicamente vinculantes e soluções de longo prazo.



## 4.2 O PAPEL DA METODOLOGIA PARA POLÍTICAS PÚBLICAS E GESTÃO INTEGRADA

O desenvolvimento de políticas públicas e a gestão integrada de recursos estratégicos, como a água, exigem abordagens metodológicas robustas, capazes de contemplar a complexidade das interações entre as dimensões social, econômica, ambiental e tecnológica. A metodologia proposta neste trabalho, demonstrou não apenas sua eficácia como ferramenta de análise e diagnóstico, mas também seu potencial para subsidiar decisões políticas e técnicas mais assertivas e inclusivas. Essa estrutura permite analisar a evolução dos desafios enfrentados pelos usuários do reservatório, evidenciando tendências e lacunas na governança dos recursos hídricos. No âmbito das políticas públicas, tal abordagem oferece uma base científica para decisões que conciliem interesses divergentes, promovendo um equilíbrio entre desenvolvimento econômico e proteção ambiental. Por exemplo, no caso do Reservatório de Sobradinho, os resultados apontaram uma prevalência de conflitos securitizados e cooperação estratégica. Essa evidência pode orientar políticas voltadas para a prevenção de crises, como investimentos em tecnologias de uso eficiente de água e o fortalecimento de comitês da bacia, além de incentivar a transição para modelos de cooperação responsável.

A gestão integrada exige que as políticas públicas considerem a interdependência entre diferentes dimensões de sustentabilidade. A metodologia proposta aborda essas dimensões de forma integrada, avaliando não apenas os eventos históricos, mas também os seus impactos nos aspectos econômico, social, tecnológico e ambiental. Essa abordagem multidimensional é essencial para políticas públicas voltadas a reservatórios de usos múltiplos, pois permite identificar os pontos críticos que necessitam de intervenção prioritária. No caso de Sobradinho, a metodologia revelou que as crises de escassez hídrica têm implicações abrangentes, afetando desde o abastecimento urbano até a geração de energia e a irrigação. Políticas integradas, embasadas nessa análise, podem priorizar ações que mitiguem os impactos dessas crises, como o aprimoramento de práticas agrícolas sustentáveis e a implementação de estratégias para aumentar a resiliência hídrica do sistema.

## 4.3 LIMITAÇÕES E POSSIBILIDADES DE REPLICAÇÃO EM OUTROS CONTEXTOS

A metodologia desenvolvida para analisar as dinâmicas de cooperação e conflito em Reservatórios de usos múltiplos apresenta um potencial significativo para aplicação em outros contextos de gestão de recursos naturais. No entanto, como qualquer abordagem científica e técnica, ela também possui limitações que precisam ser consideradas ao avaliar sua adaptabilidade a diferentes cenários. Entre as principais limitações da metodologia está a dependência de dados históricos confiáveis e abrangentes. A análise proposta exige informações detalhadas sobre eventos passados, seus impactos e as respostas institucionais implementadas. Em contextos onde a coleta de dados é



limitada ou fragmentada, como em regiões de menor infraestrutura ou com governança fragilizada, a aplicação integral da metodologia pode ser comprometida.

Além disso, a metodologia se baseia em uma estrutura de análise que pressupõe a interação de dimensões de sustentabilidade (econômica, social, ambiental e tecnológica). Essa abordagem multidimensional, embora abrangente, pode não captar particularidades culturais ou institucionais que influenciam a gestão de recursos em diferentes contextos. Apesar das pequenas limitações, a metodologia possui características que favorecem sua replicação em diferentes contextos. Primeiramente, sua estrutura analítica, baseada na relação entre intensidade de conflito e cooperação, é suficientemente flexível para ser adaptada a novos cenários. Por exemplo, a matriz de análise pode ser recalibrada para incluir dimensões ou indicadores específicos de um determinado contexto, como questões de justiça social, segurança alimentar ou governança transfronteiriça.

A metodologia também se destaca por sua capacidade de integrar múltiplos atores e perspectivas. Essa característica é particularmente útil em contextos de gestão de recursos naturais que envolvam comunidades locais, setores privados e órgãos governamentais, como na gestão de bacias hidrográficas transnacionais. A aplicação em um contexto internacional poderia, por exemplo, explorar como países com diferentes níveis de desenvolvimento e prioridades podem alcançar cooperação estratégica, mesmo diante de conflitos securitizados. Outra possibilidade é sua aplicação em diferentes tipos de recursos, como a gestão de energia renovável, florestas ou áreas costeiras. Para replicar a metodologia com sucesso em outros contextos, é fundamental realizar adaptações que considerem as particularidades locais. Uma das primeiras adaptações necessárias é a personalização dos indicadores usados para medir as dimensões de sustentabilidade. Por exemplo, em um contexto onde a questão social tem peso maior, indicadores como participação comunitária e equidade na distribuição de benefícios podem ser priorizados. Além disso, a aplicação em contextos de áreas com baixa governança pode exigir a incorporação de ferramentas de mediação de conflitos e estratégias de construção de confiança entre os atores. Esses ajustes não apenas aumentam a aplicabilidade da metodologia, mas também ampliam seu impacto como ferramenta de gestão integrada. Quando adaptada adequadamente, a metodologia tem o potencial de se tornar uma ferramenta poderosa para enfrentar desafios globais de sustentabilidade e para promover um modelo de governança mais inclusivo, cooperativo e resiliente.

## 5 CONCLUSÃO

O estudo apresentado trouxe contribuições significativas para a compreensão do nexo água-energia-alimento no contexto da gestão de conflitos e cooperação em reservatórios de usos múltiplos,

com foco na sustentabilidade e equidade no uso desses recursos essenciais. A partir da análise do reservatório de Sobradinho, demonstrou-se que as interações entre os sistemas de água, energia e alimento demandam abordagens integradas, capazes de identificar sinergias e *trade-offs*, promovendo uma gestão que equilibre os interesses dos diversos atores envolvidos.

Uma das principais contribuições desta pesquisa foi a adaptação do método TWINS para contextos locais, integrando as dimensões de sustentabilidade social, ambiental, econômica e institucional. Essa abordagem possibilitou uma análise simultânea e aprofundada das dinâmicas de conflito e cooperação, demonstrando que esses fenômenos coexistem de maneira intrínseca e que sua gestão exige estratégias que transcendam soluções binárias. O painel Nexus Vitae, desenvolvido e validado neste trabalho, revelou-se uma ferramenta robusta para identificar padrões de impacto e subsidiar tomadas de decisão estratégicas em cenários de alta complexidade.

Os resultados destacaram a relevância de políticas públicas que incorporem uma visão intersetorial, considerando as interdependências entre os sistemas do nexo AEA. A gestão de reservatórios, especialmente em contextos de escassez hídrica, deve priorizar a transparência nos processos decisórios e a inclusão de todos os stakeholders, incluindo comunidades locais, produtores agrícolas, gestores de recursos energéticos e outros setores dependentes desses recursos. A falta de integração entre órgãos reguladores e a fragmentação de interesses foram apontadas como desafios recorrentes, reforçando a necessidade de fortalecimento institucional e de práticas que promovam a confiança entre os diversos usuários.

Outro ponto relevante foi a identificação da importância de incorporar tecnologias emergentes, como sistemas de monitoramento em tempo real, modelagem computacional e inteligência artificial, para aprimorar a coleta e análise de dados. Essas ferramentas podem viabilizar uma gestão mais ágil e eficaz, reduzindo a vulnerabilidade dos sistemas hídricos em cenários críticos, como períodos de seca prolongada. Além disso, os impactos das mudanças climáticas sobre as dinâmicas de conflito e cooperação foram apontados como um tema crucial para estudos futuros, considerando o aumento da pressão sobre os recursos hídricos e a intensificação das desigualdades regionais.

A aplicação do painel Nexus Vitae no reservatório de Sobradinho demonstrou não apenas a validade da metodologia desenvolvida, mas também seu potencial de replicabilidade em outros contextos. Sua abordagem holística oferece uma base sólida para a análise de sistemas hídricos complexos, permitindo a identificação de soluções mais equitativas e sustentáveis. Estudos futuros podem explorar a aplicação deste método em cenários internacionais, considerando contextos transfronteiriços e bacias hidrográficas com características socioeconômicas diversas.

Conclui-se que o equilíbrio entre as demandas de água, energia e alimento é uma tarefa

desafiadora, mas essencial para a promoção do desenvolvimento sustentável. Este trabalho não apenas avança o conhecimento científico sobre o nexos AEA, mas também fornece uma ferramenta prática para gestores e formuladores de políticas públicas. Ao integrar as dimensões de sustentabilidade e promover a colaboração entre diferentes setores, a abordagem aqui proposta contribui para mitigar conflitos e fortalecer os mecanismos de cooperação, representando um passo importante na direção de uma gestão mais eficiente e inclusiva dos recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS

- ALLOUCHE, J.; MIDDLETON, C.; GYAWALI, D. **Nexus Nirvana or Nexus Nullity? A dynamic approach to security and sustainability in the water-energy-food nexus**. Brighton: STEPS Centre, 2014. (Working Paper 63).
- ANA- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Relatório sobre condições hídricas no reservatório de Sobradinho**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana>. Acesso em: 21 nov. 2024.
- \_\_\_\_\_. **Região Hidrográfica do São Francisco**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/SaoFrancisco.aspx>> Acesso em 05 de janeiro de 2022.
- CBHSF - COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. A gestão integrada e os benefícios do aumento das vazões em 2020. Disponível em: <https://www.saofrancisco.cbh.gov.br>. Acesso em: 21 nov. 2024.
- CHIAVENATO, I. **Gestão de Pessoas: O novo papel dos recursos humanos nas organizações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- CONTI, IRIO LUIZ; SCHROEDER, EDNI OSCAR. Estratégias de Convivência com o Semiárido Brasileiro. **Brasília: Editora IABS**, 2013.
- GRÜNWALD, Richard; WANG, Wenling; FENG, Yan. Modified transboundary water interaction Nexus (TWINS): Xayaburi dam case study. **Water**, v. 12, n. 3, p. 710, 2020.
- MIRUMACHI, Naho. **Transboundary water politics in the developing world**. Routledge, 2015.
- MIRUMACHI, Naho; ALLAN, John Antony. Revisiting transboundary water governance: Power, conflict cooperation and the political economy. In: **Proceedings from CAIWA international conference on adaptive and integrated water management: Coping with scarcity**. Basel, Switzerland. 2007.
- ROBBINS, Stephan P. **Comportamento organizacional**. São Paulo: Prentice Hall, 2006.
- SADOFF, Claudia W.; GREY, David. Cooperation on international rivers: A continuum for securing and sharing benefits. **Water International**, v. 30, n. 4, p. 420-427, 2005.