

# Metodologia de gestão de custos em manutenção de infraestruturas hídricas: estudo de caso nas adutoras de montagem rápida no Ceará

Cost management methodology in water infrastructure maintenance: a case study on water mains quickly assembly in Ceará

Eduardo Felício Barbosa<sup>1</sup> , Berthyer Peixoto Lima<sup>2</sup> , José Almir Cirilo<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: eduardo.felicio@ufpe.br

<sup>2</sup>Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: berthter.peixoto@cogerh.com.br

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Caruaru, PE, Brasil. E-mail: jose.cirilo@ufpe.br

**Como citar:** Barbosa, E. F., Lima B. P., & Cirilo, J. A. (2023). Metodologia de gestão de custos em manutenção de infraestruturas hídricas: estudo de caso nas adutoras de montagem rápida no Ceará. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 20, e4. <https://doi.org/10.21168/regav.20e4>

**RESUMO:** A sólida política de gestão de recursos hídricos do Estado do Ceará, bem como a segurança hídrica para os seus múltiplos usos, passa inevitavelmente pela garantia da operacionalidade das suas infraestruturas hídricas em especial as adutoras de água bruta. Percebe-se que tão importante quanto o investimento para construção de infraestruturas hídricas é a manutenção dessas estruturas. Contudo, entende-se que os recursos são limitados e o gestor público precisa gastar certo e de forma otimizada, mas para isso ele precisa de ferramentas que lhe auxiliem na tomada de decisão. Nesse sentido, o trabalho buscou apresentar uma metodologia que pudesse definir uma hierarquização na prioridade de investimentos para aplicação de recursos financeiros de manutenção em adutoras de montagem rápida que foram construídas para minimizar os impactos da crise hídrica. A base de dados para a metodologia apresentada foram as fichas de inspeções formais, denominadas de *checklist* e a aplicação de métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM). Ao final, a metodologia conseguiu hierarquizar as adutoras diante das variáveis vulnerabilidade e importância estratégica, para dessa forma obter a prioridade de investimentos em manutenção.

**Palavras-chave:** Adutoras de Montagem Rápida; Manutenção de Infraestrutura Hídrica; Obras de Convivência com as Secas.

**ABSTRACT:** The solid water resources management policy of the State of Ceará, as well as water security for its multiple uses, inevitably passes for guaranteeing the operability of its water infrastructures, in particular the water mains raw water. It is noticed that as important as the investment for the construction of water infrastructures, is also the maintenance of these infrastructures. However, we know that resources are limited and the public manager needs to spend right and optimally, but for that he needs tools that help him in the decision making. In this sense, the work sought to present a methodology that could define a hierarchy in the priority of investments for the application of financial resources for maintenance in water mains of quickly assembly that were built to minimize the impacts of the water crisis. The database for the methodology presented was the formal inspection sheets, called *checklist* and the application of multicriteria decision-making methods (MCDM). In the end, the methodology was able to precisely rank the water mains in terms of their importance and based on vulnerability parameter in order to obtain investment priority.

**Keywords:** Water Mains of Quickly Assembly; Maintenance of Water Infrastructure; Works of Coexistence with Droughts.

Recebido: Outubro 11, 2022. Revisado: Janeiro 13, 2023. Aceito: Fevereiro 12, 2023.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a [licença Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

## 1 INTRODUÇÃO

A região Nordeste, principalmente o semiárido, sofre em demasia com a fragilidade dos recursos hídricos que, aliada ao crescente consumo e a poluição dos corpos hídricos, afeta a vida da sociedade de forma preocupante. A região Nordeste, como destaca Cirilo (2015), é onde se encontra a maior desigualdade entre produção hídrica e densidade demográfica.

A seca é um fenômeno natural e recorrente que acontece com extensão regional e com certa periodicidade, sendo um evento em que a disponibilidade de água está abaixo da média devido à variabilidade climática, resultante do desvio na frequência de chuva e/ou taxas de evaporação altas, afetando principalmente a umidade no solo e a diminuição da taxa de produção agropecuária bem como a deficiência no abastecimento de água superficial e subterrânea (Alvalá et al., 2019).

Dessa forma, as crises econômicas e sociais que a seca ocasiona em diversos estados e municípios do Nordeste não são fenômenos recentes, posto que influenciam historicamente a vida do povo nordestino, o que se demonstra sob diversas perspectivas ao longo da história (Nunes & Medeiros, 2020; Marengo et al., 2018).

O Nordeste, e aqui em especial o estado do Ceará, atravessou de 2012 a 2020 uma das mais severas secas das últimas décadas, com índices pluviométricos anuais abaixo da média histórica, o que esgotou a maior parte das fontes hídricas de suas reservas superficiais e subterrâneas para abastecimento humano da população urbana e da zona rural (Sousa et al., 2022; Mendes et al., 2021).

Para evitar o colapso no abastecimento de água nas sedes municipais, que se apresentavam em crise hídrica, o Governo do Estado do Ceará, através da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), implantou um plano de contingência com diversas medidas emergenciais de convivência com a seca para garantir a disponibilidade de água para a população em situação de crise hídrica. Uma dessas medidas foi a construção de Adutoras de Montagem Rápida (AMR), que tinha como objetivo exportar água de açudes ou de bacias hidrográficas com maiores volumes para regiões que se encontravam colapsadas (Cortez et al., 2017).

O programa de Adutoras de Montagem Rápida no Ceará foi um projeto inovador que teve como característica o uso de tubos de aço CORTEN. Esse material, CORTEN, também conhecido como aço de intemperismo (WS), é um aço de baixa liga de alta resistência composto por ligas de cobre, cromo, fósforo, silício e níquel (Raja et al., 2021).

A escolha por esse tipo de tubo se deu por alguns requisitos para aquela situação de emergência. Destaca-se sua boa resistência à corrosão atmosférica devido à formação de camada defensiva protetora, a patina, e seu baixo tempo de execução, quando comparado com a execução de adutoras de outros materiais. Por exemplo, a execução da adutora de montagem rápida do açude Araras para a sede do município de Crateús, com extensão de 155,6 km, foi executada em um período de aproximadamente 160 dias, tendo uma produtividade de execução de praticamente 1 km/dia.

Além do Ceará, outros estados como o Rio Grande do Norte (Oliveira, 2020) e Paraíba (Medeiros & Brito, 2017), também adotaram o uso de adutoras de montagem rápida como medida emergencial para minimizar os impactos da seca.

Apesar de todas suas vantagens frente a outros tipos de adutoras, no entanto, as AMR mostraram uma desvantagem quanto à sua manutenção. As mesmas foram executadas sobre o solo e normalmente nas áreas de servidão das estradas, quer sejam federais, estaduais ou mesmo as vicinais. Essa situação de montagem em contato direto com o solo foi registrada por conta da urgência em disponibilizar água para quem tinha sede. O tubo de aço CORTEN em contato direto com o solo acaba por acelerar seu processo de corrosão e encurtar drasticamente sua vida útil. Tudo isso gerou altos custos de manutenção, havendo a necessidade de reposição de tubos e acoplamentos em trechos críticos com a presença de muitos vazamentos (Figura 1). Essa substituição se mostrou recorrente, levando a alta gestão da COGERH a optar pela plena permuta de toda adutora de algumas cidades, por outro material como o ferro fundido ou PVC. Isso foi necessário para algumas adutoras que mostravam vultosas quantias de custeio e grandes paradas de fornecimento de água.



**Figura 1.** - Vazamentos na adutora de Potiretama.  
**Crédito:** Autores.

Portanto, a COGERH passou a despender quantias elevadas e frequentes na tentativa de manter essas adutoras no máximo tempo possível de operacionalidade. Esses gastos acabaram por não ter critérios bem definidos, se não as paradas inesperadas das adutoras que se mostravam mais vulneráveis. Sem um plano de gasto e uma ferramenta que pudesse sinalizar quanto e quando investir nessa ou naquela infraestrutura, as decisões de gastos se dariam sempre alicerçadas nas emergências, não obedecendo outros critérios técnicos.

Tscheikner-Gratl et al. (2017) propuseram uma metodologia para priorização de reabilitação de infraestrutura hídrica baseado somente em métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM). Esses autores testaram 5 métodos MCDM e concluíram que o método multicritério de Análise Hierárquica de Pesos (AHP) deu resultado satisfatório para a definição de um modelo de priorização de reabilitação em redes urbanas de água.

Campos et al. (2020), já alertavam sobre os elevados custos envolvidos e a limitação de recursos financeiros como sendo um problema no estabelecimento de prioridades para execução de projetos.

Al-Barqawi & Zayed (2008) afirmaram que 59% dos sistemas canadenses de distribuição de água necessitavam de reabilitação, dos quais 43% encontravam-se em condições tecnicamente precárias, mostrando uma fragilidade no processo decisório de investimentos em manutenção.

Com isso, percebeu-se que a tomada de decisão em alocar poucos recursos financeiros diante de uma grande diversidade de estruturas hídricas é um desafio. Portanto, disponibilizar uma ferramenta ou um instrumento metodológico que possa auxiliar numa precisa tomada de decisão que gere resultados satisfatórios para a segurança operacional foi o objetivo deste trabalho, norteador no diagnóstico e na magnitude das anomalias, identificadas em fichas de inspeção.

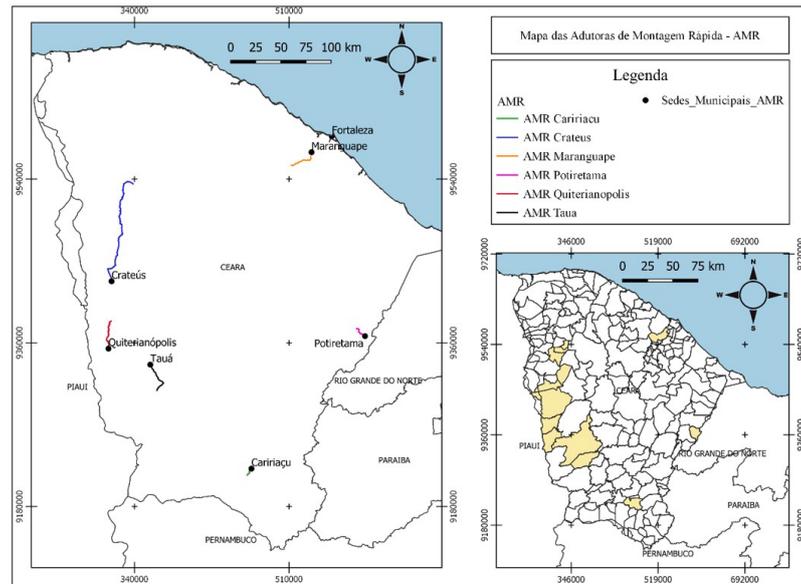
## 2 METODOLOGIA

O trabalho teve como metodologia básica a aplicação das fichas de inspeção formais ou *checklist* nas adutoras denominadas de AMR. O seu objetivo é que se possa avaliar e determinar as condições relativas à segurança estrutural e operacional. A avaliação deve identificar as anomalias e recomendar tanto os reparos corretivos, restrições operacionais e/ou modificações quanto às análises e os estudos para determinar as soluções para os problemas (Fontenelle, 2007).

As fichas de inspeção na COGERH foram alicerçadas a partir da acertada experiência iniciada no ano 2000 na aplicação dos *checklist* voltados para a segurança de barragem através do Departamento de Engenharia e Segurança de Obras Hídricas (DESOH), de acordo com Menescal et al. (2001).

Em 2019 a Gerência de Manutenção de Infraestrutura Hídrica (GEMAN) passou a aplicar os modelos de *checklist* existentes para estações elevatórias e canais de adução. No ano de 2020 concebeu-se, de forma pioneira e inovadora, um modelo de *checklist* para adutoras.

A aplicação desse novo modelo de *checklist* se deu a partir do ano de 2021 contemplando também seis adutoras de aço CORTEN, as quais foram concebidas para minimizar os impactos da crise hídrica vivenciada pelo Ceará diante da última seca com início no ano de 2012. São elas: Crateús, Caririáçu, Potiretama, Quiterianópolis, Maranguape e Tauá (Figura 2).



**Figura 2.** – Mapa das Adutoras de Montagem Rápida.  
**Fonte:** elaborada pelos autores.

Menescal et al. (2001), para definir a tomada de decisão quanto à alocação do aporte financeiro destinado à manutenção para as diversas barragens, desenvolveram um instrumento a partir da classificação do Nível de Prioridade de Intervenção (NPI), do índice de vulnerabilidade (IV), da importância estratégica (I) e de uma periculosidade (P).

Para definir uma metodologia de priorização de investimentos em manutenção de adutoras foi readequado a metodologia de manutenção de barragens utilizada por Menescal et al. (2001).

Os parâmetros definidos para a obtenção da priorização de investimentos em manutenção de adutoras foram: vulnerabilidade (V), importância estratégica (IE) e o estabelecimento de uma prioridade de investimentos (PI).

### 2.1 Cálculo do parâmetro Vulnerabilidade (V)

O cálculo do parâmetro vulnerabilidade (V) foi feito a partir da quantificação das anomalias classificadas quanto à sua magnitude em P (pequena), M (média) e G (grande), identificados na aplicação do *checklist*.

A classificação das anomalias por magnitude para adutoras apresenta os seguintes termos e legenda:

1. **Magnitude P** (pequena): quando não compromete a segurança operacional da adutora, mas indica início de descaso ou falta de manutenção;
2. **Magnitude M** (média): quando não compromete a segurança operacional da adutora a curto prazo, mas que deve ser corrigido;
3. **Magnitude G** (grande): quando compromete a segurança operacional da adutora, devendo ser corrigido imediatamente.

Para o cálculo da vulnerabilidade foram atribuídos dois pesos. O peso 1 (P1) referente à classificação das anomalias por magnitude, conforme Tabela 1.

**Tabela 1** - Peso das classificações de anomalias (P1)

Magnitude	Peso da Anomalia (a)
Anomalia P	1
Anomalia M	4
Anomalia G	9

**Fonte:** Adaptado de Fontenelle (2007).

O peso 2 (P2) está em função da quantidade de anomalias classificadas por intervalos conforme Tabela 2. Caso a quantidade de anomalias seja zero, o peso é igualmente nulo.

**Tabela 2** - Peso das quantidades de anomalias (P2).

Quantidade de Anomalias	Fator Quantitativo
1-5	1
6-10	2
11-15	3
16-20	4
21-35	5
36-50	6

Fonte: Adaptado de Fontenelle (2007).

Esses intervalos com seus respectivos pesos, foram os mesmos utilizados no trabalho de Fontenelle (2007) aplicados para manutenção em barragens. Portanto, o valor final da vulnerabilidade (V) é o produto entre P1 e P2 conforme Equação 1:

$$V = \sum (P1 \times P2) \quad (1)$$

Exemplificando a metodologia acima no caso de uma aplicação de *checklist* para uma adutora fictícia X, e sabendo que o valor de P1 é fixo para a classificação da magnitude, resta apenas o cálculo do P2 de acordo com a quantidade de anomalias. A Tabela 3 mostra o registro das anomalias para a adutora X.

**Tabela 3** - Estimativa da vulnerabilidade (V) para a adutora X.

Magnitude	Quantidade de anomalias na lista de inspeção	P1 (Tabela 1)	P2 (Tabela 2)	Vulnerabilidade (P1 x P2)
Anomalia P	22	1	5	= 1x5= 5
Anomalia M	11	4	3	= 4x3= 12
Anomalia G	2	9	1	= 9x1= 9
Valor da vulnerabilidade (V)				26

Fonte: elaborada pelos autores.

No exemplo fictício a vulnerabilidade da adutora X alcançou um valor de 26, especificamente para esse valor seria considerado alto o que proporcionaria risco de comprometimento operacional da adutora. Isso se deve basicamente ao registro de anomalias M e G, pois as anomalias P apesar do registro de 22 só corresponde à 19% do valor total da vulnerabilidade.

## 2.2 Cálculo da Importância Estratégica (IE)

Inicialmente para o cálculo de importância estratégica (IE) foi escolhido o método AHP dentre os vários métodos disponíveis do MCDM.

Com a definição do método AHP, foi determinado um conjunto de critérios a serem avaliados por especialistas. Seguem abaixo os critérios selecionados que estão relacionados com aspectos técnicos, econômicos e sociais das adutoras.

- Vazão da adutora;
- Extensão da adutora;
- Número de clientes cobertos pela adutora;
- Custo de execução da adutora.

Com os critérios escolhidos foi editada a Tabela 4 e encaminhada para 10 especialistas da COGERH com conhecimento acerca de sistemas adutores, sendo gestores e engenheiros.

**Tabela 4** - Critérios técnicos das adutoras.

Critério	Vazão	Extensão	Número de clientes	Custo de execução
Vazão				
Extensão				
Número de clientes				
Custo de execução				

Fonte: elaborada pelos autores.

Para o preenchimento da planilha, os entrevistados aplicaram os valores de importância da escala de comparação AHP de Saaty (1977) da Tabela 5, de forma a indicar o quanto um critério da coluna da esquerda é mais importante em relação a outro critério correspondente na linha superior. Um fator confrontado com ele mesmo tem valor 1 (um). Como todos os fatores se entrecruzam uma vez, a matriz passa a ser apenas um espelho, ou inverso do procedimento inicial.

**Tabela 5** - Escala de comparação de Saaty.

Valores	Importância mútua
1/9	Extremamente menos importante
1/7	Muito fortemente menos importante
1/5	Fortemente menos importante
1/3	Moderadamente menos importante
1	Igualmente importante
3	Moderadamente mais importante
5	Fortemente mais importante
7	Muito fortemente mais importante
9	Extremamente mais importante

Fonte: Saaty (1977).

O valor final de cada célula da planilha da Tabela 4 foi obtido a partir de um procedimento estatístico denominado moda de cada célula referente às respostas dos entrevistados, conforme a metodologia indicada por Saaty (1977).

Como exemplo dessa metodologia a Tabela 6 mostra os valores modais das respostas das planilhas preenchidas pelos entrevistados.

**Tabela 6** - Exemplo aplicação: Valores de comparação.

	Critério A	Critério B	Critério C
Critério A	1	3	5
Critério B	1/3	1	3
Critério C	1/5	1/3	1
Soma	1,53	4,33	9

Fonte: elaborada pelos autores.

A próxima etapa será encontrar o valor final de cada célula. Esse valor será a razão entre o seu valor modal e o somatório da sua respectiva coluna, conforme indicado na Tabela 7. Por exemplo, o valor da célula da primeira linha e da primeira coluna de 0,65 foi obtido dividindo o seu valor modal 1 pela soma da sua coluna de 1,53.

**Tabela 7** - Exemplo de aplicação: Valor modal das células.

	Critério A	Critério B	Critério C
Critério A	0,65	0,69	0,56
Critério B	0,22	0,23	0,33
Critério C	0,13	0,08	0,11

Fonte: elaborada pelos autores.

Após todo o procedimento descrito, será possível obter o peso de cada critério. Esse peso será a média de cada linha conforme, Tabela 8.

**Tabela 8** - Exemplo aplicação: Peso dos critérios.

	Critério A	Critério B	Critério C	Média	Média (%)
Critério A	0,65	0,69	0,56	0,64	64%
Critério B	0,22	0,23	0,33	0,26	26%
Critério C	0,13	0,08	0,11	0,11	11%

Fonte: elaborada pelos autores.

Com os pesos definidos para cada critério pode-se então calcular a importância estratégica (IE) conforme Equação 2.

$$IE = \left[ \begin{array}{l} (Valor\ real\ em\ porcentagem\ do\ CritérioA * Peso\ do\ CritérioA) + \\ (Valor\ real\ em\ porcentagem\ do\ CritérioB * Peso\ do\ CritérioB) + \\ (Valor\ real\ em\ porcentagem\ do\ CritérioC * Peso\ do\ CritérioC) \end{array} \right] \quad (2)$$

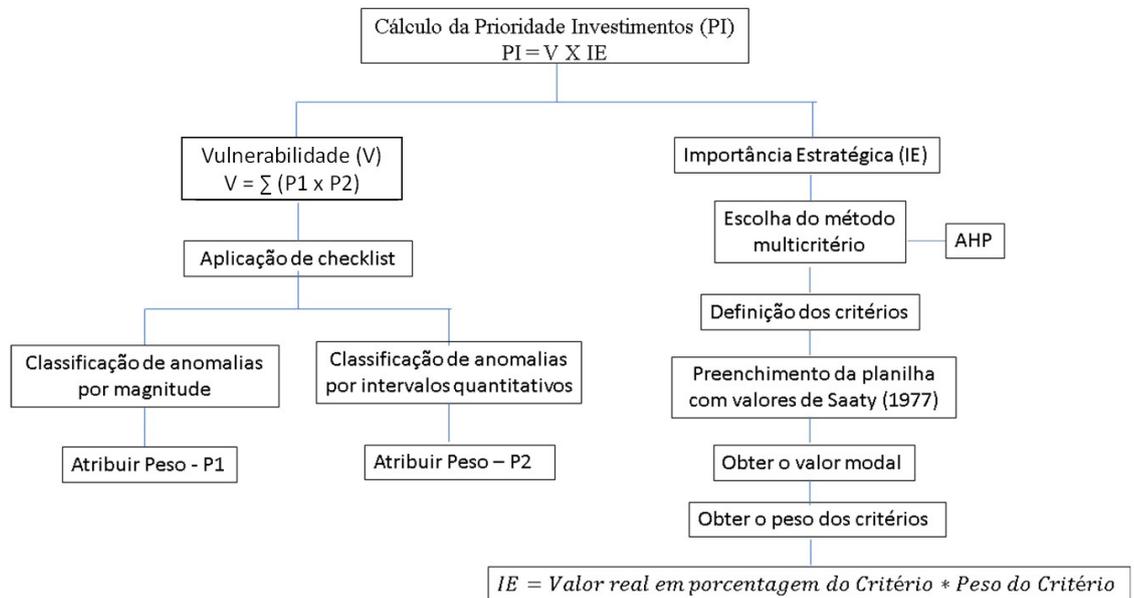
O valor real de cada critério das adutoras deve estar em porcentagem, visto que esses critérios possuem unidades diferentes como L/s, extensão em Km ou número de habitantes.

### 2.3 Cálculo da Prioridade de Investimentos (PI)

Após obtido os valores dos parâmetros de vulnerabilidade (V) e importância estratégica (IE), pode-se calcular a prioridade de investimentos (PI) conforme a Equação 3:

$$PI = V \times IE \quad (3)$$

O fluxograma da Figura 3 resume e ajuda a compreender as etapas realizadas na metodologia.



**Figura 3.** – Fluxograma da metodologia.  
**Fonte:** elaborada pelos autores.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o novo modelo de *checklist* validado para adutoras foi possível aplicar essas fichas de inspeção. Na Figura 4 segue a versão de um QR Code para a verificação do *checklist* para todas as adutoras do presente estudo. As mesmas fichas de inspeção também podem ser verificadas através da seguinte URL: <https://bityli.com/Checklist-AMR>.



**Figura 4.** - QR Code com os *checklist* das adutoras.  
**Crédito:** Autores.

As Figuras 5 a 10 mostram a condição conservacional das adutoras que foram objeto de estudo da metodologia aplicada. Elas indicam também exemplos de anomalias que foram registradas na aplicação dos *checklist*.



**Figura 5.** - AMR Carriáçu.  
**Crédito:** Autores.



**Figura 6.** - AMR Potiretama.  
**Crédito:** Autores.



**Figura 7.** - AMR Crateús  
**Crédito:** Autores.



**Figura 8.** - AMR Maranguape.  
**Crédito:** Autores.



**Figura 9.** - AMR Quiterianópolis  
**Crédito:** Autores.



**Figura 10.** – AMR Tauá.  
**Crédito:** Autores.

### 3.1 Vulnerabilidade (V)

Para o cálculo da vulnerabilidade trabalhou-se inicialmente com os dados do *checklist* aplicados no segundo semestre de 2021 para as 6 adutoras do estudo. Os quantitativos de anomalias por magnitude foram tabulados e assim calculado o parâmetro vulnerabilidade (V), conforme apresentado na Tabela 9.

**Tabela 9** - Quantidade de Anomalias P, M e G decorrente do *checklist*.

Adutora	Magnitude "P"	Magnitude "M"	Magnitude "G"	Vulnerabilidade
Caririaçu	19	8	1	21
Crateús	22	11	1	26
Maranguape	25	6	2	22
Potiretama	18	11	1	25
Quiterianópolis	20	6	2	21
Tauá	21	5	2	18

**Fonte:** elaborada pelos autores.

Pode-se observar na Tabela 9 que a adutora de Crateús obteve um valor de 26 para o parâmetro vulnerabilidade, tendo sido a infraestrutura hídrica que se mostrou mais frágil. Provavelmente isso se deve ao considerável número de anomalias M e do registro de uma anomalia G. Outro aspecto importante na Tabela 9 é que o número de anomalias P não houve tantas discrepâncias entre as 6 adutoras analisadas, portanto, o que definiu a maior ou menor fragilidade foi o número de anomalias M e G.

### 3.2 Importância Estratégica (IE)

Em relação à importância estratégica, foram obtidos os valores modais para cada célula de acordo com a Tabela 10, com base nas respostas do grupo de especialistas que preencheram a planilha para estimar os pesos dos critérios técnicos.

**Tabela 10** - Valor modal dos critérios das adutoras.

Critério	Vazão	Extensão	Número de clientes	Custo de execução
Vazão	1	5	3	7
Extensão	1/5	1	1/3	5
Número de clientes	1/3	3	1	5
Custo de execução	1/7	1/5	1/5	1
Soma	1,68	9,20	4,53	18,00

**Fonte:** elaborada pelos autores.

Com base na Tabela 10, obteve-se os valores de peso para cada parâmetro atribuído às adutoras, o que deu origem à Tabela 11. A Tabela 11 define tanto os valores do peso para cada critério como indica o critério mais preponderante para o estabelecimento da importância estratégica na visão dos especialistas que preencheram a planilha.

**Tabela 11** - Valor peso de cada critério.

Critério	Vazão	Extensão	Número de clientes	Custo de execução	Peso dos Critérios (Média)	Peso dos Critérios (%)
Vazão	0,60	0,54	0,66	0,39	0,55	55%
Extensão	0,12	0,11	0,07	0,28	0,14	14%
Número de clientes	0,20	0,33	0,22	0,28	0,26	26%
Custo de execução	0,09	0,02	0,04	0,06	0,05	5%
<b>Soma</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>100%</b>

Fonte: elaborada pelos autores.

De acordo com os valores da Tabela 11 os técnicos que preencheram a planilha para compor o cálculo da importância estratégica (IE) definiram o critério vazão como aquele mais importante com o valor de 55%. O segundo critério mais importante definido pelos técnicos foi o número de clientes, cujo o valor foi de 26%.

Dados de projeto das adutoras foram resumidos e explicitados na Tabela 12.

**Tabela 12** - Dados de projetos das adutoras.

Adutora	Vazão (L/s)	Extensão (km)	Número de clientes (Hab)	Custo de execução(R\$)
Caririaçu	31,7	13,07	15.098	R\$ 4.650.034,60
Crateús	68,33	152,77	98.400	R\$ 82.190.000,00
Maranguape	32,85	27,80	36.530	R\$ 4.476.547,36
Potiretama	9,7	16,39	6.278	R\$ 4.265.569,34
Quiterianópolis	10,28	38,92	9.846	R\$ 7.673.467,43
Tauá	34,4	41,22	33.314	R\$ 11.546.135,40
<b>Soma</b>	<b>187,26</b>	<b>290,17</b>	<b>199.466</b>	<b>R\$ 114.801.754,13</b>

Fonte: elaborada pelos autores.

Para aplicar os pesos aos critérios foi necessário transformar todos os valores reais de cada critério em percentual. Por exemplo, a vazão da adutora de Caririaçu é 31,7 L/s que dividido pela soma das vazões de todas as adutoras, que é de 187,26 L/s, chegou-se ao valor percentual de 16,93%. Com os valores dos critérios transformados em percentuais e com o peso para cada critério definido, foi possível então obter o valor final para a importância estratégica (IE) conforme Tabela 13.

O cálculo do IE, por exemplo, para a adutora de Caririaçu foi obtido da seguinte forma:

$$IE = (16,93\% * 55\% + 4,5\% * 14\% + 7,57\% * 26\% + 4,05\% * 5\%)$$

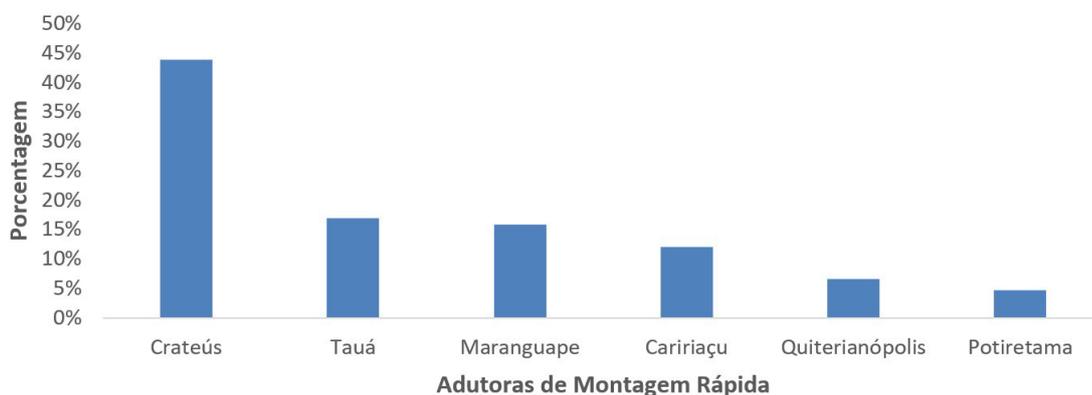
$$IE = 12,07\%$$

**Tabela 13** - Valores dos critérios em percentual e cálculo do IE.

Adutora	Vazão (L/s)	Extensão (km)	Número de clientes (Hab)	Custo de execução(R\$)	IE
Caririaçu	16,93%	4,50%	7,57%	4,05%	12,07%
Crateús	36,49%	52,65%	49,33%	71,59%	43,93%
Maranguape	17,54%	9,58%	18,31%	3,90%	15,88%
Potiretama	5,18%	5,65%	3,15%	3,72%	4,65%
Quiterianópolis	5,49%	13,41%	4,94%	6,68%	6,56%
Tauá	18,37%	14,21%	16,70%	10,06%	16,91%
<b>Peso dos Critérios (Tabela 11)</b>	<b>55%</b>	<b>14%</b>	<b>26%</b>	<b>5%</b>	

Fonte: elaborada pelos autores.

Com os dados obtidos da importância estratégica (IE) para cada adutora, de acordo com a Tabela 13, foi possível gerar o gráfico comparativo entre os seus respectivos valores (Figura 11).



**Figura 11.** – Importância Estratégicas das Adutoras.  
**Fonte:** elaborada pelos autores.

Conforme os dados apresentados na Figura 11 é possível perceber que a adutora de Crateús obteve o maior valor de IE, sendo a mais importante entre as 6 adutoras estudadas. Isso foi devido principalmente ao critério vazão e ao número de clientes. Esse resultado corrobora com a situação em campo, pois a citada adutora realmente é a mais estratégica entre as adutoras avaliadas.

Vale enaltecer que a adutora de Crateús é a única entre as 6 adutoras que transfere água entre bacias hidrográficas. A referida adutora garante a segurança hídrica de 4 sedes municipais e de vários distritos quando em período de escassez hídrica. Dentre os municípios atendidos destaca-se a sede de Crateús, município mais importante da Macrorregião econômica Sertão de Crateús composta por 9 municípios. Outro aspecto relevante dessa adutora é a sua extensão de 152,7 km que corta regiões da bacia hidrográfica do Acaraú e grande parte da bacia hidrográfica do Sertão de Crateús.

Na sequência de importância estratégica (IE) aparecem as adutoras de Tauá e Maranguape respectivamente. Novamente o modelo conseguiu representar a realidade de campo, pois tratam-se de duas adutoras que garantem o abastecimento de água humano de dois grandes municípios com robusta população urbana.

### 3.3 Prioridade de Investimentos (PI)

Com os valores de vulnerabilidade (V) e importância estratégica (IE) obtidos foi possível calcular os valores de prioridade de investimento (PI) para as adutoras do objeto desse estudo (Tabela 14).

O presente artigo mostrou um relevante avanço frente aos trabalhos publicados para a priorização de investimentos. O avanço se deu principalmente na avaliação e na contemplação da variável vulnerabilidade (V) que compõem o valor final do PI.

**Tabela 14** – Valores indicativos da priorização de investimentos nas adutoras.

Adutoras	Vulnerabilidade	Importância (IE)	PI
Crateús	26,00	43,93%	11,42
Maranguape	22,00	15,88%	3,49
Tauá	18,00	16,91%	3,04
Caririaçu	21,00	12,07%	2,53
Quiterianópolis	21,00	6,56%	1,38
Potiretama	25,00	4,65%	1,16

**Fonte:** elaborada pelos autores.

A Tabela 14 mostra o impacto e a relevância da vulnerabilidade (V), através da aplicação do *checklist*, no cálculo do PI, visto que mesmo a adutora de Tauá apresentando uma maior importância estratégica (IE) em relação à adutora de Maranguape, houve uma inversão de prioridade de investimento final devido a maior vulnerabilidade da adutora de Maranguape, por conta de sua situação conservacional ser mais crítica.

## 4 CONCLUSÕES

A metodologia conseguiu descrever a realidade quanto à prioridade de investimento (PI), ratificando a hierarquia da importância estratégica das adutoras em estudo.

A metodologia proposta foi capaz de priorizar os custos de manutenção em adutoras, tornando-se assim um eficaz instrumento na tomada de decisão.

O *checklist* mostrou-se uma ferramenta fundamental para o cálculo da vulnerabilidade, pois conseguiu retratar fielmente a situação conservacional da infraestrutura hídrica, portanto o mesmo pode ser replicado para qualquer instituição que gerencia estrutura hídrica semelhante.

A incorporação da vulnerabilidade (V) no cálculo da prioridade de investimento (PI) foi uma inovação para a definição da previsão de gastos em manutenção de infraestruturas hídricas.

## 5 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001. Os autores agradecem também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE nº2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Os autores agradecem à Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) na qual o primeiro e segundo autor possuem vínculos. Em especial agradecem aos técnicos da Gerência de Manutenção (GEMAN) pelos conhecimentos compartilhados.

Os autores também agradecem em especial à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

## 6 REFERÊNCIAS

- Al-Barqawi, H., & Zayed, T. (2008). Infrastructure management: integrated ahp/ann model to evaluate municipal water mains performance. *Journal of Infrastructure Systems*, 14(4), 305-318. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2008\)14:4\(305\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2008)14:4(305))
- Alvalá, R. C. S., Cunha, A. P. M. A., Brito, S. S. B., Seluchi, M. E., Marengo, J. A., Moraes, O. L. L., & Carvalho, M. A. (2019). Drought monitoring in the Brazilian Semi-arid region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(1, Suppl. 1), 1-15. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170209>
- Campos, V. R., Cazarini, E. W., & Campos, J. N. B. (2020). Gerenciamento de portfólio de projetos de saneamento nos Comitês das Bacias PCJ: método multicritério para hierarquização. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25(3), 457-465. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-4152202020190376>
- Cirilo, J. A. (2015). Crise hídrica: desafios e superação. *Revista Usp*, 106(106), 45. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p45-58>
- Cortez, H. S., Lima, G. P., & Sakamoto, M. S. (2017). A seca 2010-2016 e as medidas do Estado do Ceará para mitigar seus efeitos. *Parcerias Estratégicas*, 22(44), 83-118.
- Fontenelle, A. S. (2007). *Proposta metodológica de avaliação de riscos em barragens do nordeste brasileiro. Estudo de caso: barragens do estado do Ceará* (Tese de doutorado). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Marengo, J. A., Alves, L. M., Alvalá, R. C. S., Cunha, A. P., Brito, S., & Moraes, O. L. L. (2018). Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semi-arid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(21), 1973-1985. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>
- Medeiros, A. M. T., & Brito, A. C. (2017). A seca no Estado da Paraíba–Impactos e ações de resiliência. *Parcerias Estratégicas*, 22(44), 139-154.
- Mendes, L. S. A. S., Silva Neto, T. A., Sousa, J. S. F. O., Silva Neto, C. A., Cavalcante, I. N., Vanconcelos, M. B., Braga, E. A. S., Girão, F. A. L., & Salgueiro, A. R. G. N. L. (2021). Diagnóstico da oferta hídrica do município de Russas (CE): uma análise descritiva como subsídio à gestão sustentável dos recursos hídricos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(3), 1612. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1612-1625>
- Menescal, R. A., Cruz, P. T., Carvalho, R. V., Fontenelle, A. S., & Oliveira, S. K. F. (2001). Uma metodologia para avaliação do potencial de risco em barragens do semi-árido. In *Anais do XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens*. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens.
- Nunes, L., & Medeiros, P. (2020). Análise histórica da severidade de secas no Ceará: efeitos da aquisição de capital hidráulico sobre a sociedade. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 17(1), 18. <http://dx.doi.org/10.21168/reg.v17e18>

- Oliveira, L. C. (2020). *Dinâmicas territoriais locais e o uso das águas: uma análise da gestão das águas da barragem de Santa Cruz do Apodi-RN* (Tese de doutorado). Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Raja, V. K., Palanikumar, K., Rohith Renish, R., Ganesh Babu, A. N., Varma, J., & Gopal, P. (2021). Corrosion resistance of corten steel: a review. *Materials Today: Proceedings*, 46, 3572-3577. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.334>
- Saaty, T. L. A. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](http://dx.doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Sousa, J. S. F. O., Mendes, L. S. A. S., Vasconcelos, M. B., Salgueiro, A. R. G. N. L., & Cavalcante, I. N. (2022). Scenario and water supply diagnosis for human consumption in the municipality of Aracati, Ceará. *RBRH*, 27, e33. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.272220220027>
- Tscheikner-Gratl, F., Egger, P., Rauch, W., & Kleidorfer, M. (2017). Comparison of multi-criteria decision support methods for integrated rehabilitation prioritization. *Water*, 9(2), 68. <http://dx.doi.org/10.3390/w9020068>

#### **Contribuições dos autores:**

Eduardo Felício Barbosa: elaborou as fichas de inspeção. Executou a metodologia. Redigiu o artigo.

Berthyer Peixoto Lima: elaborou as fichas de inspeção. Analisou resultados. Revisou o artigo.

José Almir Cirilo: aprimorou conceitos. Analisou resultados. Revisou o artigo.