



**AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO BASEADA EM IoT APLICADA A SANEAMENTO E OS BENEFÍCIOS DECORRENTES NA EFICIÊNCIA OPERACIONAL DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DOS MUNICÍPIOS CEARENSES DE ARACOIABA/BATURITÉ, SANTA QUITÉRIA, CRATEÚS E CEDRO**

**Leonardo da Silva Gomes<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Ceará. Especialista em Automação Industrial pela Universidade de Fortaleza. Mestre em Engenharia Elétrica com ênfase em Acionamentos Elétricos pela Universidade Federal do Ceará. Atua desde 2002 como Projetista de Sistemas de Automação da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). Atualmente desempenha o cargo de Supervisor de Automação na Gerência de Manutenção Estratégica da CAGECE.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Maximino, 249 – José de Alencar – Fortaleza – Ceará – CEP: 60830-555 – Brasil – Tel: +55 (85) 99204-9479 – e-mail: [leonardo.sg@gmail.com](mailto:leonardo.sg@gmail.com).

## RESUMO

Este artigo apresenta a experiência bem-sucedida da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) na implementação de um sistema de automação de baixo custo baseado em IoT para os Sistemas de Abastecimento de Água dos municípios cearenses de Aracoiaba/Baturité, Santa Quitéria, Crateús e Cedro. A automação implementada visou otimizar os processos de bombeamento e reservação por meio do controle inteligente dos conjuntos motor-bomba das estações elevatórias de água bruta e água tratada, bem como dos níveis dos reservatórios de distribuição. Os resultados demonstraram reduções significativas do volume de água bruta aduzida e dos consumos de produtos químicos e energia elétrica (utilizados nos processos de tratamento e bombeamento), o que possibilitou uma economia financeira média anual de R\$ 1.638.511,98. A metodologia de automação empregada, baseada em tecnologias do campo da Internet das Coisas (IoT), resultou em simplicidade e redução de custos de implantação, assegurando um rápido retorno sobre o investimento (em torno de 9,4 meses) e uma ótima relação custo/benefício. O sucesso deste modelo de automação empregado justificou sua aplicação para 62 sistemas de abastecimento de água no estado do Ceará, contribuindo para a sustentabilidade e a segurança hídrica, promovendo a preservação ambiental e a eficiência operacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Automação baseada em IoT, sustentabilidade hídrica, eficiência operacional.

## 1. INTRODUÇÃO

O acesso a recursos hídricos confiáveis e gerenciados de forma eficiente é um desafio crítico, particularmente em regiões que enfrentam escassez de água e infraestrutura precária. Este artigo apresenta um estudo de caso da aplicação de um sistema de automação de baixo custo baseado em tecnologias da Internet das Coisas (IoT), implementado pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) nos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) dos municípios cearenses de Aracoiaba/Baturité, Santa Quitéria, Crateús e Cedro. O projeto concentrou-se na otimização dos SAA mencionados, através da implementação de sistemas automáticos de controle dos processos de bombeamento e reservação de água tratada, integrados em rede IoT.

Ao controlar de forma inteligente e integrada os processos de bombeamento e reservação de água tratada, foram alcançadas reduções significativas nas perdas de água bruta e tratada ao longo dos processos, que refletiu na otimização do consumo de produtos químicos e energia elétrica, resultando em economia financeira substancial e em melhoria da eficiência operacional.

Este estudo detalha o projeto, a implementação e os resultados desta abordagem inovadora, destacando seu potencial de replicação e adoção mais ampla em contextos semelhantes de gestão de água.

## 2. OBJETIVOS

Este artigo objetiva relatar a experiência da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) na implementação de automação de baixo custo baseada em IoT nos SAA dos municípios cearenses de Aracoiaba/Baturité, Santa Quitéria, Crateús e Cedro.

O objetivo principal das automações implantadas foi prover melhorias operacionais nos processos de bombeamento e reservação, através do controle remoto automático dos Conjuntos Motor-Bomba (CB) das Estações Elevatórias de Água Bruta (EEAB) e Água Tratada (EEAT) e dos níveis dos reservatórios de distribuição, com vistas à redução dos volumes aduzidos, da quantidade de produtos químicos utilizados nos processos de tratamento e do consumo de energia elétrica, possibilitando a exploração racionalizada dos mananciais e o aumento da disponibilidade e continuidade dos sistemas de abastecimento, fomentando a universalização dos serviços.

Um objetivo secundário, também alcançado, foi a validação do modelo de automação implantado e testado para replicação nos demais SAA pertencentes à Cagece em todo o Estado do Ceará.

## 3. METODOLOGIA UTILIZADA

Com vistas a justificar a automação de SAA no âmbito da Cagece, será apresentado a seguir um resumo sobre o atual cenário do abastecimento de água tratada no Brasil e no Estado do Ceará.

Depois de feita a apresentação resumida deste cenário e feita a justificativa, serão apresentadas as etapas executadas pela Cagece para a implantação das automações aqui relatadas.

### 3.1. O ATUAL CENÁRIO DOS SAA NO BRASIL E NO CEARÁ

O abastecimento de água para consumo humano no Brasil enfrenta atualmente um cenário de desafios significativos, refletindo-se em problemáticas que impactam tanto a população quanto o meio ambiente.

As elevadas perdas de água ao longo dos processos de captação, tratamento, reservação e distribuição de água são fatores críticos que demandam atenção. Estas perdas ocorrem em grande parte devido a falhas operacionais que resultam em vazamentos em adutoras, uso excessivo de água tratada nos processos de tratamento e extravasamentos de reservatórios, que por sua vez imprimem ineficiência nos sistemas, aumentando o consumo de insumos envolvidos nos processos de tratamento e bombeamento, dentre os quais: recursos hídricos, produtos químicos e energia elétrica – itens essenciais para a manutenção dos ecossistemas e do bem-estar humano.

O Painel de Indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) informa, para o âmbito nacional no ano base de 2022, um percentual de 37,78% para o IPD (SNIS, 2023), um valor alarmante, especialmente em um país que enfrenta tanto períodos de escassez hídrica em diversas regiões quanto dificuldades em universalizar o acesso à água tratada à sua população. Este cenário fica mais preocupante quando verificamos o IPD para o Estado do Ceará (âmbito deste trabalho), que está no patamar de 44,38% (SNIS, 2023) e evidencia consequências negativas, tais como a necessidade de aumento da exploração dos corpos hídricos e consequente aumento dos custos operacionais e tarifários. Este fato, aliado ao quadro de escassez hídrica que repousa sobre o Estado do Ceará há séculos, dificulta as ações da Cagece no âmbito da universalização do acesso à água tratada.

Diante deste cenário, a automação dos SAA é imprescindível para a promoção da eficiência operacional dos sistemas, redução de insumos e custos envolvidos na captação, tratamento e distribuição de água, bem como o fomento da universalização dos serviços de saneamento à população.

### 3.2. DESCRIÇÃO DOS SAA

Os SAA Automatizados estão localizados nas regiões cearenses do Maciço de Baturité (Aracoiaba/Baturité), nos Sertões de Crateús (Santa Quitéria e Crateús) e na região Centro Sul do Ceará (Cedro), distando da capital Fortaleza 85, 223, 354 e 394 km respectivamente. A Figura 1 mostra o mapa de localização.

Atualmente, tais sistemas suprem uma demanda média anual de 8.119 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> a um total de 49.497 ligações, sendo 15.722 ligações em Aracoiaba/Baturité, 7.744 em Santa Quitéria, 20.127 em Crateús e 5.903 em Cedro, perfazendo



uma percapta média total de 113,91 L/hab/dia (RADOP, 2021-2024). Os mananciais de abastecimento são, respectivamente, os açudes: Aracoíaba – capacidade  $170,70 \times 10^6 \text{ m}^3$  (COGERH, 2017a, p.21), Edson Queiroz – capacidade  $254 \times 10^6 \text{ m}^3$  (COGERH, 2011a, p.12), Carnaubal – capacidade  $87,7 \times 10^6 \text{ m}^3$  (COGERH, 2011b, p.26) e Ubaldinho ( $31,80 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) (COGERH, 2017b, p.20).

Quanto a automação implantada, as Tabelas 1 a 4 apresentam as estações e equipamentos integrados ao sistema de automação da Cagece, sendo supervisionadas e controladas remotamente através do Sistema Supervisório (SCADA Interior). Para facilitar a descrição dos sistemas de automação implantados, está informado nas Tabelas a descrição resumida da Estações Integradas e os processos de Supervisão e Controle implantados (Componentes Integrantes e as Variáveis Supervisionadas). É informado também nas Tabelas os TAG dos componentes e variáveis conforme a norma ISA-5.1 (ANSI/ISA-5.1, 2009).

**Figura 1 – Localização dos municípios de Aracoíaba/Baturité, Santa Quitéria, Crateús e Cedro**



Fonte: Baseada em Imagem do Google Maps.

Para as Tabelas, considerar a seguinte legenda de siglas:

- CB: Conjunto Motor-Bomba;
- RAP: Reservatório Apoiado;
- RSE: Reservatório Semi Enterrado;
- REL: Reservatório Elevado;
- RDA: Rede de Abastecimento;
- REN: Reservatório Enterrado;
- EEAT: Estação Elevatória de Água Tratada;
- EEAB: Estação Elevatória de Água Bruta;
- EERD: Estação Elevatória de Rede-Distribuição (booster de rede);
- EPZ: Estação Piezométrica;
- VFF: Tensão Fase-Fase;
- IL: Corrente de Linha;
- W3F: Potência Ativa Trifásica;
- STT: Status de Funcionamento (Ligado/Desligado/Defeito/Local/Remoto).

Mais adiante, no item 3.4, será apresentado um resumo das arquiteturas dos sistemas de automação implantados.

**Tabela 1 – Estações do SAA de Aracoiaba/Baturité integrados ao SCADA Interior**

Estações Integradas			Supervisão e Controle		
Nome	Localização	Função	Componentes	Variáveis	TAG
EEAB Aracoiaba	4° 24' 4.58''s 38° 43' 1.65''w	Recalque Água Bruta	CB Flutuante	VFF, IL, W3F, STT	CB-203-E1A
			CB Flutuante	VFF, IL, W3F, STT	CB-203-E1B
			Sensor Vazão	Vazão Recalque	FIT-203-E01
EEAT-01 Aracoiaba	4° 24' 4.58''s 38° 43' 1.65''w	Reservatório Apoiado	RAP 400 m3	-	RAP-01
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-203-RA1
		Bombeamento p/ EEAT-02	CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-203-S1A
			CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-203-S1B
			Sensor Vazão	Vazão Recalque	FIT-203-S01
EEAT-02 Aracoiaba	4° 23' 43.17''s 38° 45' 24.29''w	Reservatório Apoiado	RAP 400 m3	-	RAP-02
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-204-RA2
		Bombeamento p/ EEAT-03	CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-204-S1A
			CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-204-S1B
EEAT-03 Aracoiaba	4° 22' 11.61''s 38° 48' 38.48''w	Reservatório Apoiado	RAP 600 m3	-	RAP-03
			Sensor Vazão	Vazão Chegada	FIT-205-E01
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-205-RA3
		Bombeamento P/ EEAT-05	CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-205-S1A
			CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-205-S1B
EEAT-05 Baturité	4° 20' 38.79''s 38° 51' 51.90''s	Reservatório Apoiado	RAP 400 m3	-	RAP-04
			Sensor Vazão	Vazão Chegada	FIT-206-E01
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-206-RA4
		Bombeamento p/ RAP-01 / RAP-05	CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-206-01
			CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-206-02
			CB Submerso	VFF, IL, W3F, STT	CB-206-03
		Reservatório Apoiado	RAP 16 m3	-	RAP-05
Sensor Nível	Nível Reservatório		LIT-206-RA5		
ETA Baturité	4° 19' 28''s 38° 53' 10''w	Reservatório Apoiado	RAP 400 m3	-	RAP-06
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-840-RA6
		Reservatório Apoiado	RAP 400 m3	-	RAP-07
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-840-RA7
		Reservatório Apoiado	RAP 400 m3	-	RAP-08
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-840-RA8
Sensor Vazão	Vazão RDA	FIT-840-S01			

Fonte: Sistema SCADA Interior – Cagece.

**Tabela 2 – Estações do SAA de Santa Quitéria integrados ao SCADA Interior**

Estações Integradas			Supervisão e Controle		
Estação	Localização	Função	Componentes	Variáveis	TAG
EEAB Edson Queiroz	4° 14' 14.24''s 40° 3' 58.05''w	Recalque Água Bruta	CB Flutuante	VFF, IL, W3F, STT	CB-301-001
EEAT-01			Reservatório Apoiado	RAP 80 m3	-
		Sensor Vazão		Vazão de Chegada	FIT-300-E01
		Sensor Nível		Nível Reservatório	LIT-300-RA1
		Bombeamento p/ EEAT-02	CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-300-001
			CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-300-002
			CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-300-003
Sensor Vazão		Vazão Recalque	FIT-300-S01		
EEAT-02		Reservatório Apoiado	RAP 1.000 m3	-	RAP-03
			Sensor Vazão	Vazão de Chegada	FIT-302-E01
	Sensor Nível		Nível Reservatório	LIT-302-RA3	



Continuação Tabela 2

EEAT-02	4° 19' 17.56''s 40° 9' 6.16''w	Bombeamento p/ EEAT-03 / RDA	CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-302-001
			CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-302-002
			Sensor Pressão	Pressão Recalque	PIT-302-S01
			Sensor Vazão	Vazão Recalque	FIT-302-S01
			Sensor Vazão	Vazão Recalque	FIT-302-S02
		Reservatório Elevado	REL 200 m3	-	REL-01
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-302-RE1
Sensor Pressão	Pressão RDA		PIT-302-S02		
EEAT-03	4° 19' 58.18''s 40° 9' 17.5''w	Reservatório Elevado	REL 227 m3	-	REL-02
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-303-RE2
		Bombeamento p/ REL-03	CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-303-001
			CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-303-002
			Sensor Vazão	Vazão Recalque	FIT-303-S01
REL-03	4° 20' 24.12''s 40° 9' 8.51''w	Reservatório Elevado	REL 200 m3	-	REL-03
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-304-RE3
			Sensor Pressão	Pressão RDA	PIT-304-S01
			Sensor Vazão	Vazão RDA	FIT-304-S01

Fonte: Sistema SCADA Interior – Cagece.

A operação remota dos SAA de Aracoiaba/Baturité, Santa Quitéria, Crateús e Cedro, trouxe a otimização operacional dos sistemas ao longo dos anos de 2023 e 2024, evidenciada na redução dos insumos – água bruta, produtos químicos e energia elétrica – nos patamares de 4,50%, 4,87% e 8,95%, respectivamente. A economia financeira resultante da redução de tais insumos, face ao montante investido pela Cagece para a automação dos SAA, possibilitou um retorno financeiro de 9,4 meses – do montante investido para a automação dos SAA.

Diante deste retorno vantajoso e da otimização operacional alcançada, a automação dos SAA de Aracoiaba/Baturité, Santa Quitéria, Crateús e Cedro mostraram-se claramente viáveis, servindo de modelo para a automação dos demais SAA pertencentes à Cagece em todo o Estado do Ceará, ao longo dos anos de 2023 e 2024.

**Tabela 3 – Estações do SAA de Crateús integrados ao SCADA Interior**

Estações Integradas			Supervisão e Controle			
Estação	Localização	Função	Componentes	Variáveis	TAG	
EEAB-01 Carnaubal	5° 16' 52.12''s 40° 40' 11.33''w	Recalque Água Bruta	CB Flutuante	VFF, IL, W3F, STT	CB-401-001	
			CB Flutuante	VFF, IL, W3F, STT	CB-401-002	
			Sensor Vazão	Vazão Recalque	FIT-402-S01	
EEAB-02 Carnaubal			CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-402-001	
				VFF, IL, W3F, STT	CB-402-002	
				Sensor Vazão	Vazão Recalque	FIT-402-S02
EEAT-01	4° 19' 17.56''s 40° 9' 6.16''w	Reservatório Semi- Enterrado	RSE 500 m3	-	RSE-01	
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-400-RS1	
		Reservatório Semi- Enterrado	RSE 1.000 m3	-	RSE-02	
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-400-RS2	
		Bombeamento p/ REL-01 / REL-02 / RDA	CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-400-S1A	
				VFF, IL, W3F, STT	CB-400-S1B	
				Sensor Vazão	Vazão Recalque	FIT-400-S01
		Reservatório Elevado	REL 750 m3	-	REL-01	
				Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-400-RE1
				Sensor Pressão	Pressão RDA	PIT-400-S01
		Reservatório Elevado	REL 120 m3	-	REL-02	
				Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-400-RE2
Sensor Pressão	Pressão RDA			PIT-400-S02		



Continuação Tabela 3

EPZ-01	- s	Medição Pressão RDA	Sensor Pressão	Pressão RDA	PIT-406-S01
EPZ-02	- w	Medição Pressão RDA	Sensor Pressão	Pressão RDA	PIT-407-S01
EEAT-02	- s - w	Reservatório Apoiado	RAP 100 m3	-	RAP-01
			Sensor Vazão	Vazão Chegada	FIT-403-E01
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-403-RA1
		Bombeamento p/ REL-03	CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-403-001
		Reservatório Elevado	REL 50 m3	-	REL-03
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-403-RE3
Sensor Pressão	Pressão RDA		PIT-403-S01		
EEAT-03	5° 9' 40.06''s 40° 39' 46.69''w	Reservatório Apoiado	RAP 81 m3	-	RAP-02
			Sensor Vazão	Vazão Chegada	FIT-404-E01
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-404-RA2
		Bombeamento p/ REL-04	CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-404-001
			CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-404-002
REL-04	5° 9' 22''s 40° 39' 43''w	Reservatório Elevado	REL 48 m3	-	REL-04
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-405-RE4
			Sensor Pressão	Pressão RDA	PIT-405-S01

Fonte: Sistema SCADA Interior – Cagece.

**Tabela 4 – Estações do SAA de Cedro integrados ao SCADA Interior**

Estações Integradas			Supervisão e Controle		
Estação	Localização	Função	Componentes	Variáveis	TAG
EEAB Ubalzinho	6° 35' 19.49''s 39° 14' 35.12''w	Recalque Água Bruta	CB Flutuante	VFF, IL, W3F, STT	CB-451-001
			CB Flutuante	VFF, IL, W3F, STT	CB-451-002
EEAT-01	6o 35' 59'' S 39o 03' 23'' W	Reservatório Apoiado	RAP 800 m3	-	RAP-01
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-450-RA1
			Sensor Vazão	Vazão Chegada	FIT-450-E01
		Bombeamento p/ REL-01	CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-450-001
			CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-450-002
			Sensor Vazão	Vazão Recalque	FIT-450-S01
Reservatório Elevado	REL 300 m3	-	REL-01		
	Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-450-RE1		
	Sensor Pressão	Pressão RDA	PIT-450-S01		
EERD-01 (booster)	6o 35' 53.58'' S 39o 04' 7.28'' W	Bombeamento p/ REL-02	CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-452-001
			Sensor Pressão	Pressão Sucção	PIT-452-E01
REL-02	6o 36' 8.26'' S 39o 5' 51.01'' W	Reservatório Elevado	REL 25 m3	-	REL-02
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-453-RE2
			Sensor Pressão	Pressão RDA	PIT-453-S01
EEAT-04	6o 32' 54.23'' S 39o 2' 46.72'' W	Reservatório Enterrado	REN 50 m3	-	REN-01
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-454-RN1
		Bombeamento p/ REL-05	CB Horizontal	VFF, IL, W3F, STT	CB-454-001
REL-05	6o 32' 54.23'' S 39o 2' 46.72'' W	Reservatório Elevado	REL 100 m3	-	REL-02
			Sensor Nível	Nível Reservatório	LIT-455-RE5
			Sensor Pressão	Pressão RDA	PIT-455-S01

Fonte: Sistema SCADA Interior – Cagece.



### **3.3. UMA VISÃO GERAL SOBRE O MODELO DE AUTOMAÇÃO PARA SISTEMAS DE SANEAMENTO**

A partir da década de 1960, o mercado industrial, tomado pela necessidade do aumento da produtividade, viu-se diante do desafio de otimizar e eficientizar seus processos, o que exigiu o advento de plantas fabris cada vez mais complexas, que necessitavam de maior controle e rapidez no processamento das informações (HOLANDA, 2006). Este fato resultou no avanço significativo das tecnologias de automação para os diversos tipos de plantas industriais, inclusive as de saneamento (TSUTIYA, 2004). No Brasil, as aplicações de automação em saneamento, começaram muito tardiamente, somente a partir da segunda metade da década de 1990 (HOLANDA, 2006).

A automação é primordial para o setor do saneamento, pois possibilita economia de matéria-prima e energia, e aproxima a produção real à capacidade nominal das plantas de tratamento e distribuição, aumentando a eficiência dos processos e a segurança operacional. Outro ponto a considerar, conforme representado na Figura 2, é o fato de a automação facilitar, através do sistema supervisor (SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition), a integração das informações das estações (aquisitadas pelos sensores e drives) com os sistemas corporativos nas esferas gerencial e de negócios, tais como os do tipo DataOPS e ERP (Enterprise Resource Planning), respectivamente, que reúnem as informações internas e externas nas áreas operacional, financeira e comercial, possibilitando a gestão completa dos SAA automatizados (CASSIOLATO, 2011).

Sistemas SCADA são softwares para integração com painéis de automação, sensores e atuadores instalados nos equipamentos dos SAA, que possibilitam interface gráfica para supervisão e controle remoto dos sistemas automatizados. Além da integração com os equipamentos de campo, possibilita o armazenamento dos dados em formato de histórico e o gerenciamento de alarmes operacionais. É geralmente empregado em Centros de controle operacional (CCO). Na Cagece, o sistema SCADA utilizado é o E3 Server, da Elipse Software. Sistemas DataOPS, por sua vez, são plataformas de gerenciamento baseados em abordagem interfuncional para criação de fluxos de trabalho de dados ágeis, escaláveis e controláveis, envolvendo uma estrutura adequada de operações entre equipes e setores para disponibilização dos dados para análise. Na Cagece, o sistema DataOPS utilizado é o EPM Server, da Elipse Software.

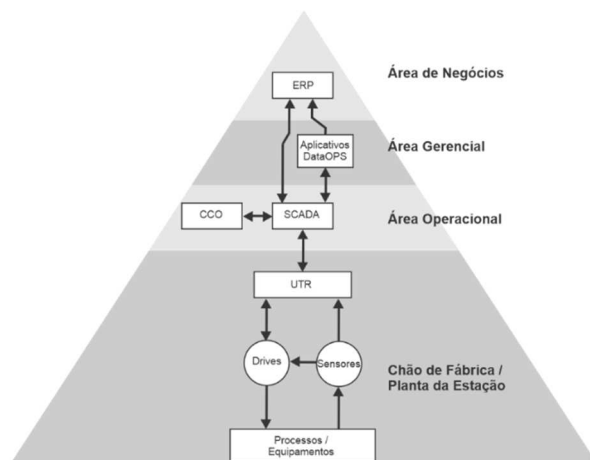
Neste âmbito, a automação dos sistemas de bombeamento e reservação de SAA surge como uma solução viável para mitigar as perdas de água e otimizar o uso de insumos ao longo dos processos de captação, tratamento, reservação e distribuição, promovendo uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos integrantes dos SAA. O uso de tecnologias avançadas de automação baseadas em Controladores Lógico Programáveis (CLP) integrados com sensores e drives inteligentes instalados em pontos estratégicos das plantas de saneamento, possibilitam a implementação de sistemas de monitoramento em tempo real, permitindo otimizar as operações e garantir o uso racional e sustentável da água e energia.

A automação aumenta a capacidade das plantas de tratamento de água, pois reduz as perdas de água provenientes de variações de carga, vazamentos, falhas de equipamentos e erros de operação humana ao longo dos processos de captação, tratamento, reservação e distribuição (OLSSON, 2007). Isto se dá pela capacidade de ajuste automático das pressões em linhas adutoras e do controle preciso dos níveis dos reservatórios, minimizando vazamentos, rompimentos de adutoras, extravasamentos, intervenções humanas e erros operacionais. Além disso, proporciona, através do sistema SCADA, ferramentas gerenciais valiosas para a tomadas de decisão – dentre elas o registro das variáveis elétricas e hidráulicas do sistema tais como potência e consumo de energia dos equipamentos, vazões e pressões em adutoras, níveis de reservatórios, alarmes de falhas operacionais, etc., possibilitando o gerenciamento, operação eficaz e reação rápida às situações adversas sofridas nos componentes dos SAA, diminuindo desperdícios através da economia de insumos envolvidos no processo (energia elétrica e produtos químicos) (OLSSON, 2007) e assegurando a continuidade do abastecimento.

Conforme representado na Figura 2, fisicamente, a automação de uma planta de saneamento envolve a integração de várias Unidades Terminais Remotas (UTR), sendo cada uma responsável pela automação local de determinados processos ou equipamentos instalados na planta (interfaceados pelos Drives e Sensores) e pela conexão remota dos mesmos ao SCADA. Há casos, dependendo da complexidade da planta, que é necessário mais de 1 (uma) UTR por estação. Cada UTR é constituída por 1 (um) CLP que supervisiona sensores e controla drives para comando de motores, válvulas, e outros equipamentos dos processos, dentro de limites pré estabelecidos pelo operador do sistema a partir de pontos de ajuste denominados de SetPoints.

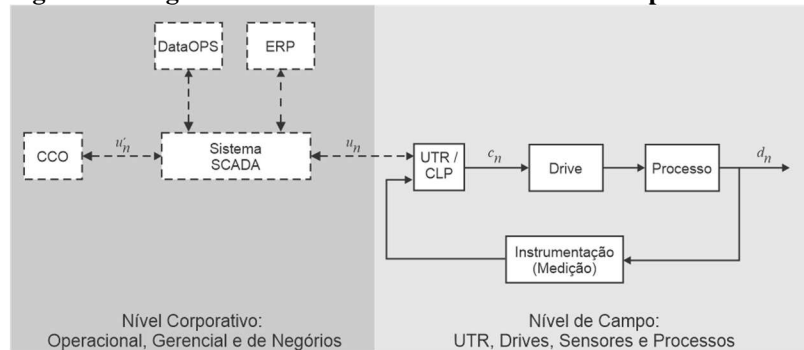
Um diagrama de blocos básico da automação de um processo integrante de uma planta de saneamento é ilustrado na Figura 3, onde o sinal  $d_n$  é a saída do processo a ser controlado, em um instante discreto  $n$ . A malha de controle é fechada através da Instrumentação de Medição (sensor de pressão, nível, vazão, etc.), que disponibiliza ao CLP um sinal  $h_n$  proporcional à saída  $d_n$ . O CLP gera o sinal de controle  $c_n$ , através de algoritmo de controle, tomando como referência o residual entre  $h_n$  e o sinal de referência externa  $u_n$ . O sinal de controle  $c_n$  é então aplicado à entrada do Drive (chaves de comando de motores e atuadores de bombas e válvulas) que modula o processo a fim de manter a saída  $d_n$  dentro do limite estabelecido pelo sinal de referência externa  $u_n$ . O sinal  $u_n$  é proporcional ao SetPoint  $u'_n$  estabelecido pelo operador do CCO através da aplicação SCADA. As informações da supervisão e controle do processo são disponibilizadas nas plataformas DataOPS e ERP.

**Figura 2 – A Automação no Saneamento e a fusão com as esferas Gerencial e de Negócios**



Fonte: Desenho do Autor – baseado na arquitetura de automação utilizada pela Cagece.

**Figura 3 – Diagrama básico do controle automático de um processo em Planta de Saneamento**



Fonte: Desenho do Autor – baseado na arquitetura de automação utilizada pela Cagece.

### 3.4. A AUTOMAÇÃO DOS SAA DE ARACOIABA/BATURITÉ, SANTA QUITÉRIA, CRATEÚS E CEDRO

Diante do cenário preocupante do abastecimento de água no âmbito do Estado do Ceará já comentado acima, a Cagece iniciou em 2022 um programa de automatização dos SAA do interior, sendo os SAA de Aracoiaba/Baturité, Santa Quitéria, Crateús e Cedro – escolhidos em janeiro daquele ano como os primeiros a serem automatizados no âmbito da Internet das Coisas (IoT), o que possibilitou o planejado e uso de tecnologias simplificadas de baixo custo, baseadas no modelo de automação de sistemas de saneamento resumido acima, a fim de que fosse obtido viabilidade e retorno financeiro a curtíssimo prazo.

Para tanto, a partir do primeiro semestre de 2021, as Gerências de Projeto (Gproj) e Manutenção Estratégica (Gemae), unidades responsáveis pela elaboração de projetos e implantação/manutenção de sistemas de automação na Cagece,





respectivamente, elaboraram as Normas Técnicas Internas NIT-0063, NIT-0064 e NIT-0065 (disponíveis em <https://www.cagece.com.br/documentos-publicacoes/documentos>), que padronizaram a elaboração de projetos de automação, projetos e implantação de CCO e projetos e fornecimento de painéis de UTR, respectivamente. Tais normas facilitaram a compra de equipamentos de automação, a integração aos CCO da Cagece (existentes) e a manutenção dos mesmos, o que imprimiu confiabilidade às automações implantadas desde então. Além disso, estas normas possibilitaram o uso dos protocolos MQTT e OPC UA (NIT-0063, 2024), colocando os SAA automatizados da Cagece dentro do âmbito do IoT, facilitando a conexão com o CCO (NIT-0064, 2024) através de painéis UTR devidamente projetados para tanto (NIT-0065, 2023) e a instalação/integração das mesmas.

O modelo proposto para as automações implantadas, seguindo o conceito de simplicidade e baixo custo, contemplou apenas os processos de bombeamento e reservação, com vistas ao controle das pressões e fluxo nas adutoras com o intuito principal de reduzir os extravasamentos dos reservatórios de água tratada, que eram recorrentes no sistema até a implantação da automação, principalmente no SAA de Aracoiaba/Baturité.

Adiante, será apresentada a metodologia empregada na implantação das automações, um resumo dos sistemas implantados e os resultados alcançados.

## 4. DESENVOLVIMENTO

### 4.1. METODOLOGIA EMPREGADA

A metodologia empregada na implantação das automações, consistiu basicamente no cumprimento do cronograma apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5 – Metodologia e Plano de Ação para implantação do sistema de automação do SI de Aracoiaba**

Ação	Descrição	Norma	Cumprimento
1	Elaboração de Normas: NIT-0063, NIT-0064 e NIT-0065		2021
2	Elaboração de Ata de Reg. de Preços p/ Painéis de UTR	NIT-0065	2021
3	Compra dos painéis UTR da Ata		Jan 2022
4	Compra de sistema/servidor SCADA p/ CCO	NIT-0064	Jan 2022
5	Implantação do CCO	NIT-0064	Fev 2022
6	Instalação dos painéis UTR	NIT-0065	Fev 2022 – Abr 2022
7	Integração das UTR aos sensores e drives das estações	NIT-0063	Mai 2022 – Jul 2022
8	Integração das UTR ao CCO	NIT-0063	Mai 2022 – Jul 2022
9	Operação Remota/Automática p/ testes e ajustes		Ago 2022 – Dez 2022
10	Operação Remota/Automática definitiva (considerada neste trabalho)		Jan 2023 – Dez 2024
11	Análise dos Resultados		Jan 2023 – Dez 2024

Fonte: Plano de ação Gemae/Cagece para automação do interior, 2021.

### 4.2. OS SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO IMPLANTADOS

Para a automação dos SAA de Aracoiaba/Baturité, Santa Quitéria, Crateús e Cedro foi empregado um modelo de baixo custo para supervisão e controle dos processos de bombeamento e reservação das estações apresentadas nas Tabelas 1 a 4 (acima). Para tanto, foram instalados e integrados um total de 23 (vinte e três) Painéis de UTR, 13 (treze) sensores de pressão e 26 (vinte e seis) sensores de nível. Quanto a medição de vazão e acionamento de motores, foram integrados 19 (dezenove) sensores de vazão e 34 (trinta e quatro) inversores/softstarters já existentes, via conexão serial RS-485 ou Ethernet.

A lógica de funcionamento remoto/automático das estações automatizadas de Aracoiaba/Baturité, executadas pelo CLP do painel UTR, é apresentada na Tabela 6, conforme informações da Tabela 1. Pela padronização das lógicas de funcionamento das estações, bem como dos algoritmos de programação dos CLP, não serão apresentadas as lógicas de funcionamento remoto/automático das estações dos SAA de Santa Quitéria, Crateús e Cedro, porém estas seguem uma lógica semelhante, consistindo no controle dos níveis dos reservatórios através do controle remoto automático dos bombeamentos. A descrição do monitoramento das variáveis de processo (supervisão) é apresentada nas Tabelas 1, 2, 3 e 4.



**Tabela 6 – Algoritmo de operação automático do sistema de automação do SAA de Aracoiaba/Baturité**

Estação	Controle		Variável de Controle		
	Equipamento	Comando	Variável	Equipamento	TAG
EEAB Aracoiaba	CB-203-E1A / E1B	Liga	Nível Mín	RAP-01	LA_L-203-RA1
		Desliga	Nível Máx		LA_H-203-RA1
EEAT-01 Aracoiaba	CB-203-S1A / S1B	Liga	Nível Mín	RAP-02	LA_L-204-RA2
		Desliga	Nível Máx	RAP-01	LA_H-204-RA2
			Nível Mín		LA_L-203-RA1
EEAT-02 Aracoiaba	CB-204-S1A / S1B	Liga	Nível Mín	RAP-03	LA_L-205-RA3
		Desliga	Nível Máx	RAP-02	LA_H-205-RA3
			Nível Mín		LA_L-204-RA2
EEAT-03 Aracoiaba	CB-205-S1A / S1B	Liga	Nível Mín	RAP-04	LA_L-206-RA4
		Desliga	Nível Máx	RAP-03	LA_H-206-RA4
			Nível Mín		LA_L-205-RA3
EEAT-05 Baturité	CB-206-03	Liga	Nível Mín	RAP-05	LA_L-206-RA5
		Desliga	Nível Máx		RAP-04
	CB-206-01 / 02		Liga	Nível Mín	
		Desliga	Nível Máx	RAP-04	LA_H-207-RA6
			Desliga		Nível Mín

Fonte: Códigos fonte CLP Painéis UTR – Gemae/Cagece, 2022.

Quanto a estrutura física e de rede dos sistemas instalados, a Figura 4 apresenta a Arquitetura de automação e comunicação. Conforme a figura, foram utilizados 3 tipos de painéis UTR de acordo com a necessidade de cada estação: (tipo 1) Painel UTR para Telemetria e Controle de Bombeamento e monitoramento (telemetria) de sensores (nível, pressão e vazão/volume); (tipo 2) Painel UTR para Controle de Bombeamento; e (tipo 3) Painel UTR para monitoramento de sensores (nível, pressão e vazão/volume). Os hardwares dos painéis UTR tipo 1 são baseadas em CLP, enquanto que as dos tipos 2 e 3 em Roteadores 4G programáveis (assumem a função de CLP) com recurso de Gateway RS-485 (Modbus-RTU) e Ethernet (Modbus-TCP) para conexão dos Drives de acionamento de motores e Medidores de vazão/volume. A UTR do tipo 3 é acrescida de um Módulo de I/O para conexão de sensores de pressão e nível via sinal analógico de corrente 4-20 mA.

Conforme a pirâmide da Figura 2, as conexões foram implementadas em 3 níveis (NIT-0063, 2024): (1) conexão entre painel UTR, sensores e drives via I/O analógico (4-20 mA), rede RS-485 e/ou Rede Ethernet; (2) conexão entre os painéis UTR e CCO/SCADA via Ethernet (com estrutura de Fire Wall e VPN no padrão Cagece) nos protocolos OPC UA e MQTT; (3) conexão entre CCO/SCADA com os sistemas corporativos (DataOPS e ERP) via Ethernet TCP/IP.

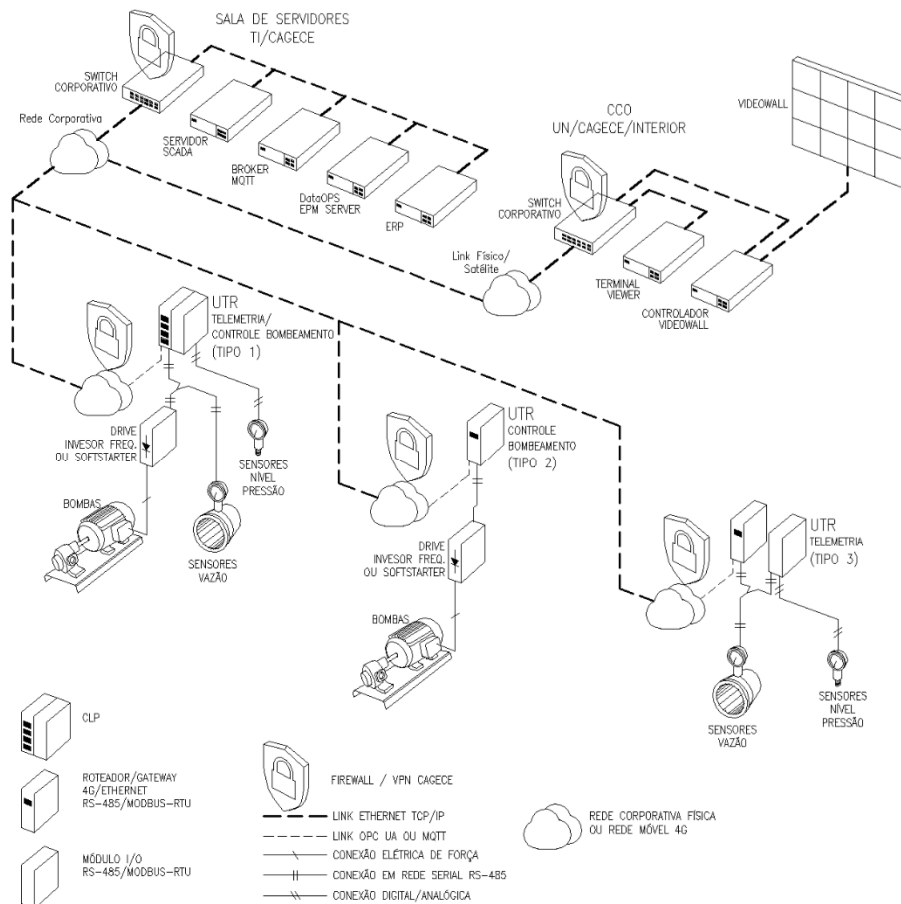
Esta arquitetura baseada em IoT possibilitou rapidez e praticidade na instalação e integração dos painéis UTR, sensores e drives.

Na arquitetura destaca-se a “Sala de Servidores TI/Cagece” – uma sala-cofre na sede administrativa da Cagece – na qual estão instalados os servidores SCADA Interior, o Broker MQTT e os servidores dos serviços DataOPS e ERP que atendem toda a Cagece em todo o Estado.

Todos os painéis UTR instalados nas estações dos SAA de Aracoiaba/Baturité, Santa Quitéria, Crateús e Cedro estão conectados aos servidores SCADA e Broker MQTT via link Ethernet em fibra óptica (rede corporativa) ou rede móvel 4G com uso dos protocolos MQTT ou OPC UA. Destaca-se também os CCO das UN (Unidades de Negócio) do Interior, onde são executadas as aplicações Viewer/Control do SCADA Interior para acesso às telas sinóticas das estações para operação e monitoramento remoto das mesmas. As telas são desenvolvidas e hospedadas no Servidor SCADA Interior.

Esta arquitetura garantiu robustez e continuidade/disponibilidade de conexão nas aplicações devido às redundâncias já nativas nas redes utilizadas (rede corporativa Cagece e rede móvel 4G), além da facilidade e agilidade na instalação e integração. As conexões são feitas através de canais VPN em faixas de IP liberadas pela TI/Cagece e exclusivas para a automação dos sistemas.

**Figura 4 – Arquitetura de Comunicação dos sistemas de automação dos SAA de Aracoiaba/Baturité, Santa Quitéria, Crateús e Cedro**



Fonte: Desenho do Autor – baseado na arquitetura de automação utilizada pela Cagece.

Quanto aos instrumentos e atuadores de campo, foram utilizados sensores analógicos de pressão, sensores analógicos de nível, sensores de vazão eletromagnéticos, inversores de frequência e softstarters de fabricantes diversos.

Os painéis UTR dos tipos 1 (telemetria e controle de bombeamento) são constituídos de CLP compacto com I/O integrado. Os painéis UTR dos tipos 2 e 3 (controle de bombeamento e telemetria) são constituídos de Roteador/Gateway 4G/Modbus-RTU/Ethernet. Os painéis UTR do tipo 3 (telemetria) possuem a mesma constituição dos painéis UTR do tipo 2 acrescidos de módulo de I/O para conexão dos sensores analógicos de nível e pressão instalados nas estações. Todos os painéis possuem sistema de alimentação elétrica baseados no conjunto fonte/ups/bateria.

## 5. RESULTADOS E ANÁLISES

Dos resultados obtidos a partir da automação dos SAA de Aracoiaba/Baturité, Santa Quitéria, Crateús e Cedro, destaca-se a economia dos seguintes insumos dos processos de tratamento:

- Água bruta aduzida (volume bruto aduzido);
- Produtos químicos utilizados no processo de tratamento;
- Consumo de energia elétrica.

Tais economias serão detalhadas adiante e evidenciarão a otimização dos SAA possibilitada pelas automações e o aumento da disponibilidade operacional das estações e da continuidade da prestação dos serviços de abastecimento.

A economia da adução de água bruta otimizou a exploração dos mananciais, trazendo maior segurança hídrica para os SAA – fator crucial para um Estado de clima semiárido onde é natural a escassez de chuvas.

A economia de produtos químicos e energia elétrica, por sua vez, foi possibilitada pelo controle automático dos níveis dos reservatórios de Água Tratada dos SAA – fato diretamente relacionado ao controle automático do acionamento das estações elevatórias. Mesmo tendo havido um aumento nos volumes produzidos para consumo nos SAA de Santa Quitéria, Crateús e Cedro, o controle dos extravasamentos dos reservatórios eliminou o excedente de volume produzido que era desperdiçado antes das automações, resultando em economia de produtos químicos e energia elétrica.

Outros insumos também foram economizados, tais como horas extras dos operadores das estações e manutenção eletromecânica – porém não serão considerados neste trabalho – ficando para uma possível revisão futura.

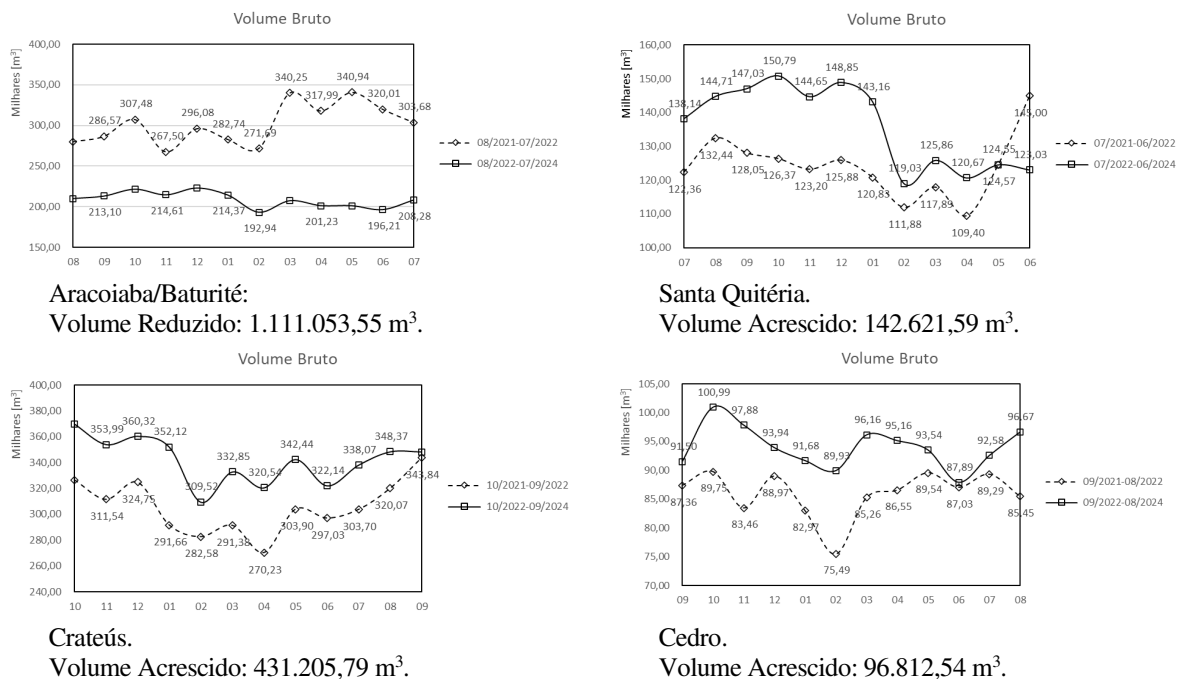
A seguir serão apresentados os resultados – levantados à partir de dados oficiais da Cagece disponíveis no Relatório Anual de Dados Operacionais (RADOP, 2021-2024) e no Relatório de Custos de Energia Elétrica por SAA (RCEE, 2021-2024). Os resultados financeiros foram calculados a partir de tais dados e das tarifas e custos unitários da água bruta e dos produtos químicos, respectivamente. Os custos de energia elétrica foram consultados diretamente do Relatório de Custos de Energia Elétrica por SAA (RCEE, 2021-2024).

## 5.1. REDUÇÃO DO VOLUME BRUTO ADUZIDO

A automação dos sistemas reduziu o volume bruto aduzido no patamar total de 440.413,63 m<sup>3</sup> (soma das reduções e acréscimos para os quatro sistemas). Isto se deu principalmente devido ao SAA de Aracoíaba/Baturité, que teve uma redução expressiva no volume bruto aduzido, na ordem de 1.111.053,55 m<sup>3</sup>.

Para os sistemas de Santa Quitéria, Crateús e Cedro, entretanto, houve aumento da adução de água bruta, principalmente pela necessidade do aumento do volume produzido (água tratada) demandado pelo aumento da abrangência das redes de distribuição locais. Tal aumento, porém, não ultrapassou a redução do volume bruto aduzido no SAA de Aracoíaba/Baturité, conforme visto nos gráficos da Figura 5.

**Figura 5 – Análise dos volumes bruto aduzido. Saldo total de 440.413,63 m<sup>3</sup>**



Fonte: (RADOP, 2021-2024).

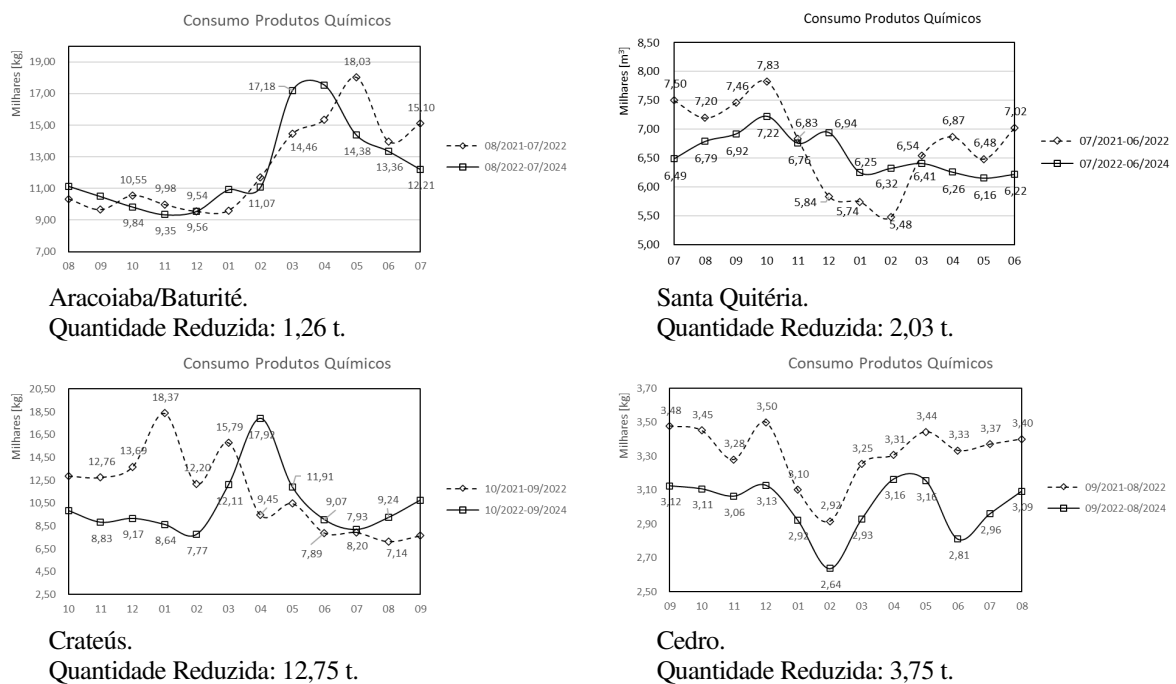
Isto evidenciou o alto grau de ocorrências de extravasamentos dos reservatórios de água tratada de Aracoiaba/Baturité, resultantes da falta de controle dos bombeamentos e das grandes distâncias entre as estações (que dificultava o controle manual das estações pelos operadores locais). A alta incidência de extravasamentos exigia a produção de grandes volumes de água tratada – a fim de suprir a população local face aos grandes volumes extravasados. A eliminação dos extravasamentos, portanto, trouxe economia considerável deste insumo.

## 5.2. REDUÇÃO DOS CONSUMOS DE PRODUTOS QUÍMICOS E ENERGIA ELÉTRICA NOS PROCESSOS DE TRATAMENTO E BOMBEAMENTO

A automação dos sistemas reduziu consideravelmente o consumo de energia elétrica e produtos químicos nos processos de adução de água bruta, adução de água tratada e produção de água tratada. As Figuras 6 e 7 mostram as economias médias anuais nos patamares de 19,78 t de produtos químicos e 475,88 MWh de energia elétrica, evidenciando a eficiência operacional resultante das automações dos SAA analisados, ao longo dos processos de bombeamento e reservação.

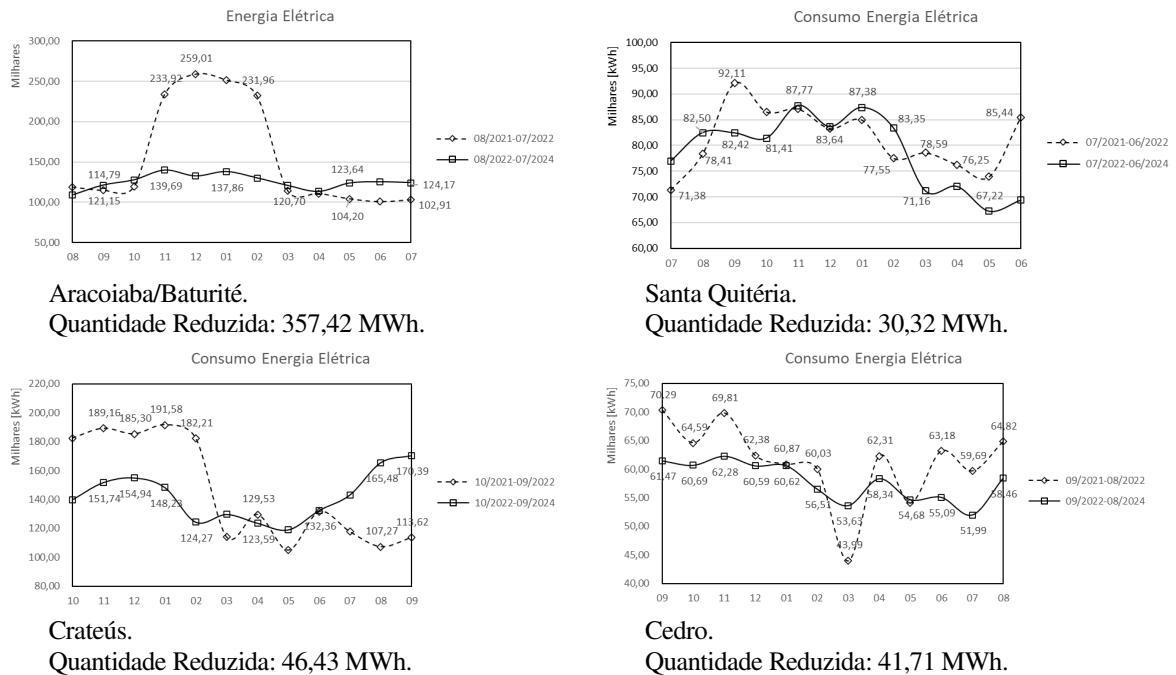
Mesmo diante do aumento dos volumes produzidos em Santa Quitéria, Crateús e Cedro, como já mencionado anteriormente, a eliminação dos extravasamentos possibilitou a redução do consumo dos produtos químicos e energia elétrica nos processos de tratamento e bombeamento. Menos extravasamentos implica em menos água desperdiçada e consequentes reduções nos insumos envolvidos, otimizando os processos de adução de água bruta, de tratamento e de adução de água tratada.

**Figura 6 – Análise do consumo de produtos químicos. Redução total de 19,78 t**



Fonte: (RADOP, 2021-2024).

**Figura 7 – Análise do consumo de energia elétrica. Redução total de 475,88 MWh**



Fonte: (RCEE, 2021-2024).

### 5.3. ECONOMIA TOTAL E RETORNO DO INVESTIMENTO

No âmbito dos SAA avaliados, as economias de insumos relatadas acima trouxeram uma Economia Financeira Média Anual (Valor Presente dos Benefícios - VPB) de R\$ 1.638.511,98, sendo R\$ 1.020.217,51 para Aracoiaba/Baturité, R\$ 338.957,31 para Santa Quitéria, R\$ 179.652,50 para Crateús e R\$ 99.684,66 para Cedro. O custo total investido no ano de 2022 (Valor Presente dos Custos - VPC) e aplicado pela Cagece para automatizar tais sistemas foi de R\$ 1.266.128,76, referentes a materiais e mão de obra própria (equipes da Gemae/Cagece) para instalação e integração das automações.

Calculando o retorno financeiro do investimento, conforme a [equação (1)], considerando a Taxa de Juros ao Ano (TJAA) de 13,75% (para o ano de 2022), chegamos ao Tempo de Retorno (TR) de 9,4 meses, evidenciando a vantajosa viabilidade da automação de SAA.

Quanto ao Valor Final dos Benefícios (VFB) [equação (2)], considerando as TJAA de 13,75%, 11,75% e 12,25% para os anos de 2022, 2023 e 2024, respectivamente, chegaremos ao montante de R\$ 2.337.948,32 para o ano de 2025, representando uma Relação Custo Benefício (RCB) [equação (3)] de 0,54, confirmando ainda mais a viabilidade da automação dos sistemas.

$$TR = 12 \times \log(1 + VPC \times TJAA / VPB) / \log(1 + TJAA) \quad \text{equação (1)}$$

$$VFB = VPB \times (1 + TJAA)^n \quad \text{equação (2)}$$

$$RCB = VPC / VPB \quad \text{equação (3)}$$

### 6. CONCLUSÃO

Como aqui exposto, diante dos desafios e problemáticas enfrentadas pelos diversos SAA em todo o Brasil no que diz respeito às perdas de água provocadas por falhas operacionais e que impactam as populações e o meio ambiente, o modelo de automação implementado nos SAA de Aracoiaba/Baturité, Santa Quitéria, Crateús e Cedro mostrou-se viável, tanto pela otimização operacional resultante quanto pela economia de insumos, evidenciados pelo excelente

tempo de retorno do investimento e pela boa relação custo benefício. O modelo de automação implementado também demonstrou ser versátil quanto a instalação de seus componentes (painéis UTR, sensores e atuadores), facilitando a integração com o CCO (SCADA Interior) e a manutenção posterior.

O sucesso do modelo foi possível à partir da elaboração de normas técnicas internas (NIT) de projetos de automação, CCO e painéis UTR, que facilitaram a firmação de contratos de fornecimento de materiais e insumos necessários à implantação dos sistemas de automação. Além disso, as NIT nortearam a concepção e implantação de uma arquitetura de automação que facilitou a integração dos painéis UTR e demais componentes (sensores e atuadores) ao CCO (SCADA Interior) via rede celular 4G ou conexão física de rede ethernet em fibra ótica, possibilitando o ingresso de tais sistemas automatizados no âmbito do IoT através do uso dos protocolos MQTT e OPC UA, imprimindo rapidez à integração das automações implementadas.

No total, conseguiu-se uma redução anual de 440.413,63 m<sup>3</sup> (4,50%) no volume de água bruta captada para tratamento, além de uma economia anual substancial de 19,78 t (4,87%) de produtos químicos e 475,88 MWh (8,95%) de energia elétrica. Estes ganhos culminaram em uma economia financeira anual de R\$ 1.638.511,98 (R\$ 2.337.948,32 – corrigido ao ano de 2025), que face ao investimento de R\$ 1.266.128,76, demonstra o grande potencial econômico da automação de sistemas de abastecimento através do modelo implementado (RCB de 0,54).

O alcance destes resultados justifica a implantação de sistemas de automação no âmbito do saneamento, no modelo apresentado neste trabalho, a fim de possibilitar a exploração racional dos mananciais e o controle otimizado dos processos de tratamento, de bombeamento e reservação, aumentando os graus de sustentabilidade, de confiabilidade e de continuidade dos serviços de abastecimento à população. Foi neste âmbito que o modelo dos sistemas de automação aqui analisados, foi replicado com sucesso (a partir do segundo semestre de 2022 até dezembro de 2024) em 62 (sessenta e dois) SAA pertencentes à Cagece, no interior do Estado do Ceará, perfazendo um total de 422 (quatrocentas e vinte e duas) estações automatizadas (GEMAE, 2025).

É importante destacar que estas automações foram implementadas por pessoal e recursos próprios da Cagece, evidenciando que o investimento em normatização técnica, o uso de tecnologias inovadoras e a capacitação técnica das equipes próprias envolvidas pode ser um diferencial decisivo para as empresas públicas de saneamento que buscam sustentabilidade e eficiência.

Adicionalmente, a automação de sistemas de saneamento desempenha um papel crucial na promoção da preservação ambiental. Ao otimizar a exploração de água dos mananciais, contribui-se para a manutenção dos níveis desses corpos hídricos, favorecendo a sua funcionalidade ecológica e a biodiversidade local. Além disso, um SAA mais eficiente consome menos produtos químicos e energia, o que resulta em menores emissões de gases de efeito estufa.

Portanto, a transição para sistemas de abastecimento de água automatizados e tecnologicamente integrados através de IoT representa um passo fundamental para enfrentar os desafios atuais do setor do saneamento no Brasil. Esta abordagem não apenas promove uma significativa otimização operacional (e consequente redução de perdas de água ao longo dos processos de captação, tratamento e distribuição), como também reforça o compromisso com a sustentabilidade, garantindo que o precioso recurso hídrico seja gerido de forma adequada e segura para atender às necessidades das populações atendidas, sem comprometer a capacidade das gerações futuras em suprir suas próprias demandas.

## 7. REFERÊNCIAS

1. SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Painel Indicadores*. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis>.
2. RADOP – Relatório Anual de Dados Operacionais. *Aracoiaba/Baturité, Santa Quitéria, Crateús e Cedro*. Sistema de Controle Operacional de Água (COA). ERP Operacional Cagece. Ref.: jan/2021 a dez/2024.
3. COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará. *Inventário Ambiental do Açude Aracoiaba*. p.21. 2017. Disponível em: [https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/01/IVA-Aracoiaba\\_PSH.pdf](https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/01/IVA-Aracoiaba_PSH.pdf).
4. COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará. *Inventário Ambiental do Açude Edson Queiroz*. p.12. 2011. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/pdf/inventarios/2011/Inventario%20Ambiental%20do%20Acude%20Edson-Queiroz%202011.pdf>.



5. COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará. *Inventário Ambiental do Açude Carnaubal*. p.26. 2011. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/pdf/inventarios/2011/Inventario%20Ambiental%20do%20Acude%20Carnaubal%202011.pdf>.
6. COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará. *Inventário Ambiental do Açude Ubaldinho*. p.20. 2017. Disponível em: [https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/01/IVA-Ubaldinho\\_PSH.pdf](https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/01/IVA-Ubaldinho_PSH.pdf).
7. HOLANDA, A., SANTOS, C. *Automação de olho no futuro*. SANEAS – Associação dos Engenheiros da Sabesp, São Paulo: 2006, Revista, vol. 02, no 24.
8. TSUTIYA, M. T. *Abastecimento de Água*. Dep. de Eng. Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP, 1ª Edição, São Paulo: 2004, pp. 2-8.
9. CASSIOLATO, C. *Redes Industriais*. Artigo Técnico, SMAR Automação, São Paulo: 2011.
10. OLSSON, G. *Automation Development in Water and Wastewater Systems*. Korean Society of Environmental Engineers, Environ. Eng. Res. Vol. 12, No. 5, Seoul: 2007, pp. 197-200.
11. NIT-0063 – Norma Interna Cagece. *Elaboração de Projetos de Automação*. 2024.
12. NIT-0064 – Norma Interna Cagece. *Elaboração de Projetos e Implantação de CCO*. 2024.
13. NIT-0065 – Norma Interna Cagece. *Elaboração de Projetos e Fornecimento de Painéis de UTR*. 2023.
14. ANSI/ISA-5.1. *Instrumentation Symbols and Identification*. American National Standard, 2009.
15. RCEE - Relatório de Custos de Energia Elétrica por SAA. *Aracoiaba/Baturité, Santa Quitéria, Crateús e Cedro*. Sistema de Gerenciamento de Energia (GE). ERP Operacional Cagece. Ref.: jan/2021 a dez/2024.
16. GEMAE – Gerência de Manutenção Estratégica. *Levantamento de Sistemas de Abastecimento de Água automatizados*. Sistema Supervisório SCADA Cagece/Interior. 2025.