



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Ludmila Machado Rodrigues

2024

CAMPO GRANDE | MS

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

LUDMILA MACHADO RODRIGUES

Trabalho de Conclusão de Curso do Mestrado Profissional apresentada na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Eficiência Energética.

Orientadora: Prof^a. Dra. Andréa Teresa Riccio Barbosa

CAMPO GRANDE

AGOSTO / 2024

FOLHA DE APROVAÇÃO

Ludmila Machado Rodrigues

Análise de Eficiência Energética em Sistema de Abastecimento de Água

Redação final do Trabalho de Conclusão de Curso, aprovada pela Banca Examinadora em 22 de agosto de 2024, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.

Banca examinadora:

Prof.^a Dra. Andréa Teresa Riccio Barbosa – Orientadora

Engenheira Eletricista (UFMS) / Administradora (UCDB)

Mestra e Doutora em Engenharia Elétrica (UFSC)

Prof. Dr. Johannes Gerson Janzen – Membro titular do curso

Engenheiro Civil (UFMS)

Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC/USP)

Me. Elthon Santos Teixeira – Membro titular externo

Engenheiro Civil (UNIDERP)

Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade (UFMS)

Gerente de Desenvolvimento Operacional – SANESUL

Prof.^a Dra. Keila Roberta Ferreira de Oliveira – Membro titular externo

Engenheira Ambiental (UFMS) / Engenheira Civil (UNIDERP)

Mestra e Doutora em Tecnologias Ambientais (UFMS)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, por me abençoar, iluminar, proteger e guiar, e aos meus pais, à minha irmã, aos meus familiares e aos meus amigos, que sempre me apoiaram e incentivaram. Minha sincera gratidão a todos!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder saúde, força, coragem, sabedoria e iluminação, permitindo-me concluir mais uma etapa de vitória em minha jornada.

Aos meus pais, Aldírio e Ariete, pelo amor, carinho, paciência, apoio e dedicação em meu crescimento e formação profissional.

À minha irmã, Luciane, pelo amor, carinho, respeito, paciência e companheirismo.

À minha orientadora, Dra. Andréa Teresa Riccio Barbosa, pela orientação, disponibilidade, estímulo para alcançar os objetivos da pesquisa, paciência e, sobretudo, pela amizade construída e consolidada ao longo deste trabalho.

Aos meus dois professores do mestrado, Dr. Frederico Moreira e Dr. Johannes Gerson Jansen, pelos ensinamentos, orientação e pelas aulas no início deste projeto.

Ao meu chefe de trabalho e amigo, Me. Elthon Santos Teixeira, pelo apoio, amizade, paciência e orientações prestadas.

À minha amiga da faculdade de Engenharia Civil, Dra. Keila Roberta Ferreira de Oliveira, pela atenção, carinho, apoio e participação na minha banca.

Ao meu ex-colega de trabalho e professor, Dr. Marcos Roberto de Araújo, pela ajuda, amizade e orientações fornecidas.

Aos meus dois colegas de trabalho e engenheiros eletricitas, Eng. Aldo Alvarenga do Amaral, pelo apoio e ensinamento no cálculo de energia da bomba, e Eng. Alexandre Santos Andrade Monteiro, pela ajuda e ensinamento na simulação de energia com o software EPANET.

À Saneamento de Mato Grosso do Sul – SANESUL, pelo apoio e viabilização da minha liberação para a conclusão dos créditos que contribuíram para minha formação acadêmica, bem como por fornecer informações e materiais para a elaboração deste projeto.

Aos meus queridos colegas de trabalho da SANESUL, pela convivência, amizade, carinho, companheirismo e apoio prestados.

Aos meus familiares, amigos, colegas de mestrado e professores, e a todos aqueles que participaram direta ou indiretamente da minha jornada. Muito obrigada!

EPÍGRAFE

“A água é um dos principais elementos da natureza. Não podemos viver sem ela.”

“Cuidar da água é essencial para preservar a vida.”

Autor desconhecido, 2024.

RESUMO

Muitas pesquisas visam encontrar soluções de eficiência energética para a operação de sistemas de abastecimento de água, e constata-se que é possível reduzir significativamente os custos com energia elétrica nas companhias de abastecimento. Com esse objetivo, esta pesquisa propõe alternativas para diminuir os custos de energia elétrica no bombeamento do sistema de abastecimento de água do município de Miranda, MS. A metodologia foi aplicada em um estudo de caso, que envolveu o levantamento do sistema de abastecimento de água de todos os bairros de Miranda/MS, verificando o controle da operação, o atendimento às demandas, os equipamentos em operação e a situação do abastecimento. Com essas informações foram realizadas diversas simulações, efetuando cálculos, dimensionamentos de bombas e equipamentos, além de pesquisar os custos de energia elétrica de bombeamento para os sistemas. O estudo abordou três diferentes cenários para a eficiência energética no sistema de abastecimento de água de Miranda/MS. No cenário 01, foram investigadas a troca das quatro bombas (EAB-001, EAT-001, EAT-002 e EAT-003) e o custo da energia de bombeamento, com uma análise técnica e econômica das alterações propostas. No cenário 02, foi realizado um diagnóstico energético da bomba EAT-002 e implementada a utilização de inversores de frequência da bomba EAT-003. No cenário 03, foram investigadas medidas como a substituição das bombas, a troca das antigas redes de cimento amianto por PVC, a instalação de uma nova adutora para otimização do sistema, a implantação de um novo reservatório com maior capacidade e a implementação de estratégias de gerenciamento de energia. A análise concluiu que a melhor opção é o Cenário 03, pois esses resultados mostram que o *payback* simples tem um período de retorno estimado em 15 anos. Embora esse prazo seja longo, podendo ser maior que a vida útil de alguns componentes do sistema, ele proporciona uma maior eficiência energética. Quando se considera o *payback* descontado, com uma taxa de desconto de 7,5%, o projeto se revela viável. É importante observar que, neste cenário, também foi considerada a ampliação do sistema para atender um número maior de residências.

Palavras-chave: eficiência energética, sistemas de abastecimento de água, redução de custos.

ABSTRACT

By carrying out studies that aim to find energy efficiency solutions for the operation of water supply systems, it is possible to significantly reduce electricity costs in supply companies. With this objective, this research proposes alternatives to reduce electricity costs in pumping the water supply system in the municipality of Miranda, in the state of Mato Grosso do Sul. The methodology was applied in a case study, which involved surveying of the water supply system in all neighborhoods of Miranda/MS, checking operation control, meeting demands, equipment in operation and the supply situation. With this information, several simulations were carried out, carrying out calculations, sizing pumps and equipment, in addition to researching the costs of pumping electricity for the systems. The study addressed three different scenarios for energy efficiency in the Miranda/MS water supply system. In scenario 01, the exchange of four pumps (EAB-001, EAT-001, EAT-002 and EAT-003) and the cost of pumping energy were investigated, with a technical and economic analysis of the proposed changes. In scenario 02, an energy diagnosis of the EAT-002 pump was carried out and the use of frequency inverters for the EAT-003 pump was implemented. In scenario 03, measures such as the replacement of pumps, the exchange of old asbestos cement networks for PVC, the installation of a new pipeline to optimize the system, the implementation of a new reservoir with greater capacity and the implementation of management strategies were investigated. power management. The analysis concluded that the best option is Scenario 03, as these results show that the simple payback has an estimated payback period of 15 years. Although this period is longer than the useful life of the components, it provides greater energy efficiency. When considering the discounted payback, with a discount rate of 7.5%, the project appears to be viable. It is important to note that, in this scenario, expansion of the system to serve a greater number of homes was also considered.

Keywords: energy efficiency, water supply systems, cost reduction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Configurações antiga e atual da estação elevatória de água de Santana	37
Figura 2. Curva nos postos horários ponta e fora de ponta	43
Figura 3. Fluxograma da metodologia	48
Figura 4. Mapa de localização de Miranda/MS.	55
Figura 5. Município de Miranda/MS.....	55
Figura 6. Croqui esquemático do sistema de abastecimento de água de Miranda/MS.	57
Figura 7. Captação de água no rio Miranda.	58
Figura 8 (a) e (b). Estação de tratamento de água (ETA-001).	59
Figura 9. Estação de tratamento de água (ETA-001) e reservatório (RAP-003).....	59
Figura 10 (a), (b) e (c). Casa das bombas (EAB-001) e conjunto motobombas (um ativo e outro de reserva - EAB-001) na região Cerâmica Baiazinha.....	61
Figura 11. Conjunto motor bomba EAT-001 (um ativo e outro de reserva).	62
Figura 12. Conjunto motor bomba EAT-002 (um ativo e outro de reserva) e quadro de comando (ETA-002).	63
Figura 13 (a) e (b). Tubo camisa (EAT-003), abrigo e quadro de comando (EAT-003).	63
Figura 14 (a), (b) e (c). Reservatórios apoiados (RAP-001 e RAP-002) e reservatório elevado (REL-001).....	65
Figura 15 (a) e (b) Reservatório apoiado de concreto armado (RAP-003).....	66
Figura 16. Reservatório metálico apoiado (RAP-004), abrigo e tubo camisa (EAT-003).	67
Figura 17. Setorização da cidade de Miranda/MS, obtido através do cadastro de rede (<i>software Cadian</i>).	68
Figura 18. Croqui de sistema de Miranda/MS (situação atual).....	89

Figura 19. Croqui de sistema – Tarifa de energia e instalação de inversor de frequência (sistema proposta).	108
Figura 20. Simulação do Epanet (1ª opção - proposto) – Bomba EAT-002	111
Figura 21. Horários de ponta e fora de ponta (1ª opção) – Bomba EAT-002.....	112
Figura 22. Gráfico (pressão x tempo) – Reservatório RAP-004 (1ª opção - proposto)	112
Figura 23. Simulação do Epanet (2ª opção - proposto) – Bomba EAT-002	114
Figura 24. Horários de ponta e fora de ponta (2ª opção) – Bomba EAT-002.....	115
Figura 25. Gráfico (pressão x tempo) – Reservatório RAP-004 (2ª opção - proposto)	115
Figura 26. Situação proposta – Desativação dos reservatórios existentes (RAP-001, RAP-002 e REL-001), implantação do novo reservatório RAP-005 e implementação de novas estruturas.	130
Figura 27: Simulação do software EPANET 2.0 BRASIL.....	132
Figura 28. Projetos de abastecimento de água de Miranda/MS (plantas baixas e cortes) da SANESUL - <i>Software</i> CADIAN.....	133
Figura 29. Setorização da cidade de Miranda/MS, obtido através do cadastro de rede (<i>software Cadian</i>) – Setorização proposta.	141

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Eficiência energética do sistema.....	71
Equação 2. Consumo Específico de Energia Elétrica Normalizado.....	74
Equação 3. Fator de uniformização.	74
Equação 4. Cálculo do indicador CEN.	75
Equação 5. Cálculo do indicador CEN em rendimento percentual.	75
Equação 6. Altura manométrica média (sistema atual).	77
Equação 7. Carregamento médio e potência requerida (sistema atual).	78
Equação 8. Potência instalada do motor (sistema atual).....	79
Equação 9. Potência média utilizada (sistema atual).	79
Equação 10. Fator de coincidência na ponta (sistema atual).....	80
Equação 11. Consumo de energia ou energia consumida (sistema atual).....	80
Equação 12. Demanda média na ponta (sistema atual).....	80
Equação 13. Altura manométrica média (sistema proposto).	82
Equação 14. Carregamento médio e potência requerida (sistema proposto).....	83
Equação 15. Potência instalada do motor (sistema proposto).	84
Equação 16. Potência média utilizada (sistema proposto).	84
Equação 17. Fator de coincidência na ponta (sistema proposto).	85
Equação 18. Consumo de energia ou energia consumida (sistema proposto).....	85
Equação 19. Demanda média na ponta (sistema proposto).	85
Equação 20. Redução de demanda na ponta (kW).	86
Equação 21. Energia economizada, consumo específico e volume de água.....	87
Equação 22. Energia economizada (MWh/ano).....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Total de publicações por fase de pesquisa bibliométrica.....	32
Tabela 2. Trabalhos que contribuíram com o desenvolvimento do projeto.....	38
Tabela 3. Adutora de Água Bruta (AAB).	60
Tabela 4. Adutora de Água Tratada (AAT).	60
Tabela 5. Elevatória de água bruta (EAB)	62
Tabela 6. Elevatória de Água Tratada (EAT).	64
Tabela 7. Reservatórios.	64
Tabela 8. Redes de distribuição.	67
Tabela 9. Nomes dos bairros da cidade de Miranda/MS (divisão dos setores do sistema).	68
Tabela 10. Sistema atual – Reabilitação ou substituição de motobombas.....	77
Tabela 11. Sistema proposto – Reabilitação ou substituição de motobombas	81
Tabela 12. Resultados esperados – Reabilitação ou substituição de motobombas	86
Tabela 13. Sistema atual de bombas instaladas no município de Miranda.....	94
Tabela 14. Valores de referência para efeitos de avaliação.....	95
Tabela 15. Eficiência eletromecânica em instalações elevatórias – Sistema atual (Cenário 01).	96
Tabela 16. Cálculo - substituição de motobombas - Sistema proposto (Cenário 01). .	97
Tabela 17. Eficiência eletromecânica em instalações elevatórias – Sistema proposto (Cenário 01).	98
Tabela 18. Redução de demanda na ponta e energia economizada com substituição de conjunto motobomba no abastecimento de água (Cenário 01).....	99
Tabela 19. Cálculo de investimentos (Cenário 01).	100
Tabela 20. Cálculos de custos evitados (Cenário 01).....	101

Tabela 21. Cálculo de <i>payback</i> simples (Cenário 01).	101
Tabela 22. Cálculo de <i>payback</i> descontado - Período de 15 anos (Cenário 01).	102
Tabela 23. Cálculo de <i>payback</i> descontado - Período de 20 anos (Cenário 01).	103
Tabela 24. Tabela de energia das bombas (01) – Sistema atual (janeiro a dezembro de 2023).	105
Tabela 25. Tabela de energia das bombas (02) – Sistema atual (janeiro a dezembro de 2023).	106
Tabela 26. Valores de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta (Sistema atual).	109
Tabela 27. Valores de consumo e demanda nos HFP= 18 horas e HP= 0 hora (Sistema proposto – 1ª opção – BOMBA EAT-002).	110
Tabela 28. Valores de consumo e demanda nos HFP= 21 horas e HP= 3 horas (Sistema proposto – 2ª opção – BOMBA EAT-002).	113
Tabela 29. Valores de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta.	116
Tabela 30. Custo mensal e verificação da redução de energia elétrica.	116
Tabela 31. Bomba EAT-003 – Sistema atual.	117
Tabela 32. Bomba EAT-003 - Sistema proposto (1ª opção) - sem inversor de frequência.	118
Tabela 33. Bomba EAT-003 – Sistema proposto (2ª opção) – com inversor de frequência reduzindo a 50%.	119
Tabela 34. Cálculo de investimentos (Cenário 02) – 1ª situação.	120
Tabela 35. Cálculo de custo evitado (Cenário 02) – 1ª situação.	121
Tabela 36. Cálculo de <i>payback</i> simples (Cenário 02) – 1ª situação.	122
Tabela 37. Cálculo de <i>payback</i> descontado – Período de 15 anos (Cenário 02) – 1ª situação.	122
Tabela 38. Cálculo de <i>payback</i> descontado – Período de 20 anos (Cenário 02).	123

Tabela 39. Cálculo de investimentos (Cenário 02) – 2ª situação	124
Tabela 40. Cálculo de custo evitado (Cenário 02) – 2ª situação	125
Tabela 41. Cálculo de <i>payback</i> simples (Cenário 02) – 2ª situação.....	125
Tabela 42. Cálculo de <i>payback</i> descontado – Período de 15 anos (Cenário 02) – 2ª situação.....	126
Tabela 43. Cálculo de <i>payback</i> descontado – Período de 20 anos (Cenário 02) – 2ª situação.....	127
Tabela 44. Adutoras novas.	134
Tabela 45. Três reservatórios desativados e um reservatório novo.	134
Tabela 46. Bombas instaladas no município de Miranda (sistema atual).....	135
Tabela 47. Substituição de bombas - Sistema proposto (Cenário 03).	137
Tabela 48. Eficiência eletromecânica em instalações elevatórias – Sistema atual (Cenário 03).....	137
Tabela 49. Eficiência eletromecânica em instalações elevatórias – Sistema proposto (Cenário 03).	138
Tabela 50. Redução de demanda na ponta e energia economizada com substituição de conjunto motobomba no abastecimento de água (Cenário 03).....	139
Tabela 51. Substituição e reforço de rede de distribuição.....	139
Tabela 52. Nomes dos bairros da cidade de Miranda/MS (setorização - sistema proposto).....	140
Tabela 53. Valores de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta (Sistema atual e sistema proposto) – Bomba EAB-001 e Bomba EAT-001.	142
Tabela 54. Valores de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta (Sistema atual e sistema proposto) – Bomba EAT-002 e Bomba EAT-003.	143
Tabela 55. Resumo dos valores de consumo, demanda contratada, faturas, tarifas e custos (sistema atual e sistema proposto).....	144

Tabela 56. Cálculo de investimentos – Rede de distribuição, adutora e reservatório.	145
Tabela 57. Cálculo de investimentos – Bombas, inversor de frequência e custo total.	146
Tabela 58. Cálculo de custo evitado – Rede de distribuição, adutora e reservatório.	147
Tabela 59. Cálculo de custo evitado – Bombas e inversor de frequência.....	147
Tabela 60. Cálculo de custo evitado – Custo total.....	148
Tabela 61. Cálculo de <i>payback</i> simples (Cenário 03).	149
Tabela 62. Cálculo de <i>payback</i> descontado - Período de 20 anos (Cenário 03).	149
Tabela 63. Cálculo de <i>payback</i> descontado - Período de 20 anos (Cenário 03).	151

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SAAs	Sistemas de Abastecimento de Água
EE	Estações Elevatórias
ETA	Estações de Tratamento de Água
EPANET	<i>Environmental Protection Agency Network Evaluation Tool</i> (Ferramenta de Avaliação de Rede da Agência de Proteção Ambiental)
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
GRG	Gradiente Reduzido Generalizado
PL	Programação Linear
PMR	Ponto de Máximo Rendimento
UFRGS	Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
SDAs	Sistemas de Distribuição de Água
HP	Horário de Ponta
HFP	Horário Fora de Ponta
CMBs	Conjuntos Motobombas
SANESUL	Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul
VPL	Valor Presente Líquido
TMA	Taxa Mínima
TIR	Taxa Interna de Retorno
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CAF	Captação Superficial
RAP	Reservatório Apoiado
REL	Reservatório Elevado
AAB	Adutora de Água Bruta

AAT	Adutora de Água Tratada
EAB	Elevatória de Água Bruta
EAT	Elevatória de Água Tratada
IDE	Indicadores de Desempenho Energético
CE	Consumo Específico de Energia
CEN	Consumo Específico de Energia Elétrica Normalizado
IWA	<i>International Water Association</i> (Associação Internacional da Água)
EE	Energia Evitada
RDP	Retirada de Demanda na Ponta
SELIC	Sistema Especial de Liquidação

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
hab/km ²	Densidade demográfica em habitantes por quilômetro quadrado
m	Unidade de medida de comprimento em metro
Km	Unidade de medida de comprimento ou distância em quilômetro
m ³	Unidade de medida de volume em metro cúbico
kWh	Unidade de medida de energia em quilowatt-hora
m ³ /h	Unidade de medida de vazão em metro cúbico por hora
γ	Peso específico da água
V	Volume
H	Altura ou elevação
Et	Energia total consumida
kWh/m ³	Unidade de medida de energia em quilowatt-hora por metro cúbico
Hman	Altura manométrica
Funif	Fator de uniformização
η	Rendimento da bomba
P	Potência
m ³ /s	Unidade de medida de vazão em metro cúbico por segundo
mca	Unidade de medida de pressão em metro de coluna d'água
Prec	Pressão de recalque da bomba
Psuc	Pressão de sucção da bomba
Vrec	Velocidade na seção de recalque
Vsuc	Velocidade na seção de sucção
G	Aceleração da gravidade

ΔH_g	Desnível geométrico
m/s	Unidade de medida de velocidade em metro por segundo
m/s ²	Unidade de medida de aceleração em metro por segundo ao quadrado
CV	Unidade de medida de energia em cavalo vapor
kW	Unidade de medida de energia em quilowatt
Q	Vazão
h/ano	Unidade de medida de tempo em hora por ano
FCP	Fator de coincidência na ponta
kWh/ano	Unidade de medida de energia em quilowatt-hora por ano
MWh/ano	Unidade de medida de energia em megawatt-hora por ano
RDP	Redução de demanda na ponta

SUMÁRIO

FOLHA DE APROVAÇÃO	3
DEDICATÓRIA.....	4
AGRADECIMENTOS.....	5
EPÍGRAFE	6
RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE EQUAÇÕES	11
LISTA DE TABELAS.....	12
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	16
LISTA DE SÍMBOLOS.....	18
SUMÁRIO	20
1 INTRODUÇÃO.....	23
1.1 <i>Objetivo Geral</i>	25
1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	25
1.3 <i>Justificativa</i>	26
1.4 <i>Estrutura do Trabalho</i>	29
2 TRABALHOS RELACIONADOS.....	31
2.1 <i>Pesquisa bibliométrica</i>	31
2.2 <i>Resultados da busca bibliométrica</i>	32
3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	40
3.1 <i>Consumo de energia elétrica no sistema de abastecimento de água</i>	40
3.2 <i>Tarifas de energia elétrica</i>	41
4 METODOLOGIA	45
4.1 <i>Fluxograma da metodologia</i>	48
4.2 <i>Estudos de caso</i>	54

4.2.1	Características do sistema de abastecimento de água de Miranda/MS	54
4.2.2	Estação de tratamento de água	58
4.2.3	Sistema de adução	59
4.2.4	Elevatória de Água Bruta e Elevatória de Água Tratada (bombas)	61
4.2.5	Reservação	64
4.2.6	Rede de distribuição.....	67
4.2.7	Setorização	68
4.3	<i>Tópicos de eficiência energética em sistema de abastecimento de água</i>	69
4.3.1	Redução de custos com energia elétrica em sistema de abastecimento de água	71
4.3.2	Indicadores de eficiência energética em sistema de abastecimento de água	72
4.3.3	Projetos típicos de eficiência energética em saneamento: reabilitação ou substituição de motobombas	76
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	88
5.1	<i>Avaliação da situação atual (levantamento de dados)</i>	88
5.2	<i>Definição do problema</i>	90
5.3	<i>Cenário 01: Eficiência energética em quatro sistemas de bombeamento de Miranda/MS</i>	93
5.3.1	Otimização do sistema de bombeamento	93
5.3.2	Comparação e avaliação final – Sistema de bombeamento	96
5.3.3	Análise de investimento e <i>payback</i> - Sistema de bombeamento	99
5.4	<i>Cenário 02: Diagnóstico energético em sistema de bombeamento e instalação de inversores de frequência em Miranda/MS</i>	103
5.4.1	Análise de dados energéticos.....	103
5.4.2	Avaliação da tarifa de energia e da instalação de inversor de frequência	107
5.4.3	Análise de investimento e <i>payback</i> – Diagnóstico energético (1ª SITUAÇÃO).....	119
5.4.4	Análise de investimento e <i>payback</i> – Diagnóstico energético (2ª SITUAÇÃO).....	123
5.5	<i>Cenário 03: Eficiência energética e melhoria operacional dos sistemas de água de Miranda/MS</i>	127
5.5.1	Simulação com o <i>software</i> EPANET.....	152
5.5.2	Elaboração do projeto de abastecimento de água	133
5.5.3	Sistema de bombeamento – Melhoria operacional dos sistemas de água	135
5.5.4	Análise de dados energéticos – Melhoria operacional dos sistemas de água	141
5.5.5	Análise de investimento e <i>payback</i> – Melhoria operacional dos sistemas de água	145
6	CONCLUSÃO	152

TRABALHOS FUTUROS155

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS156

APÊNDICE163

ANEXOS.....198

1 INTRODUÇÃO

Na maioria dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAAs) o consumo de energia elétrica é uma das maiores despesas, geralmente abaixo apenas de despesas com recursos humanos. E, de acordo com a Aliança para Conservação de Energia (ALLIANCE, 2002), entre 2% e 3% do total de energia elétrica consumida no mundo é utilizado para o bombeamento de água em sistemas de abastecimento.

Em função desse tipo de consumo de energia elétrica envolvido no sistema, estima-se em 25% o potencial de redução de seu consumo, por meio de medidas de eficiência energética e conservação de energia (ALLIANCE, 2002).

No Brasil, o setor de abastecimento de água corresponde a 2,6% do total de energia consumida, sendo 90% desse total referente aos sistemas de bombeamento de água (SILQUEIRA, 2019).

A despesa com energia elétrica nos SAAs tem sido um dos grandes desafios para as concessionárias do setor de saneamento. O consumo elevado de energia nesses SAAs ocorre por diversas causas, como, problemas na rotina operacional e nos equipamentos do sistema, volume perdido de água, utilização de equipamentos no horário de ponta do sistema elétrico, entre outros (MAMADE, 2014).

Buscar a eficiência no dimensionamento de equipamentos e na operação de sistemas de bombeamento tem por consequência o ganho econômico e ambiental, sendo assim, uma forma de melhorar a situação financeira das empresas e evitar o desperdício de recursos, consequentemente, conservando o meio ambiente.

No setor de saneamento, um dos fatores que deve ser aprimorado é a redução do consumo de energia elétrica, como forma de garantir a sustentabilidade econômica para grande parte das empresas do Brasil e do mundo (POLESE, 2010).

O objetivo deste trabalho é minimizar os custos de bombeamento, das bombas de Estações Elevatórias (EE) e das Estações de Tratamento de Água (ETA), durante o período de 24 horas, sob determinado esquema tarifário da concessionária de energia elétrica. Busca-se, também, atender as restrições de vazões, capacidades máxima e mínima dos reservatórios de distribuição, demanda, entre outros (FIRMINO, 2006).

O conhecimento da eficiência do sistema de abastecimento, as decisões a serem tomadas com o objetivo de aumentá-la, depende do conhecimento e controle da operação do sistema como um todo.

Durante muito tempo o controle operacional de sistemas de abastecimento, por parte das empresas de saneamento, foi executado com o apoio de equipamentos de comunicação e, principalmente, da experiência da mão de obra encarregada do serviço.

Nos últimos anos, surgiram *softwares* que vêm sendo aplicados, cada vez mais, para representarem os sistemas físicos e auxiliarem nas tomadas de decisão com o propósito de melhorar a eficiência da operação. Trata-se de modelos computacionais que representam o sistema de abastecimento como um todo e simulam sua operação ao longo do tempo.

Segundo Montenegro (2009), o *software* foi concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição de água para abastecimento urbano e permite obter valores de vazão, de pressão, do nível de água nos reservatórios e da concentração de elementos químicos ao longo da rede hidráulica, entre outros.

O *software* EPANET proporciona possibilidade de modelamento do sistema de abastecimento. Dessa forma, auxilia na análise de alternativas de gestão, de modo a melhorar a qualidade do sistema de abastecimento, em termos de quantidade e qualidade da água fornecida, assim como permite avaliar possíveis ações que possam diminuir o consumo de energia elétrica das estações de bombeamento.

A utilização de um modelo hidráulico justifica-se pela redução dos custos em se fazer ensaios em campo, pela possibilidade de identificar informações em que o conhecimento e os dados sejam insuficientes, podendo estimular ideias e abordagens experimentais.

Comparados com os métodos tradicionais, às vezes, os modelos fazem um melhor uso dos dados, que se tornam cada vez mais precisos. Entretanto, há necessidade de um olhar crítico do responsável pela modelagem (WALSKI, 2001).

Além disso, a estrutura tarifária adotada pelas distribuidoras de energia elétrica, implementada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL no ano 2000, permitiu uma maior flexibilidade em suas tarifas. Dessa forma, com a adequação do uso dos equipamentos na intenção de obter uma melhoria na eficiência elétrica, as concessionárias de água

puderam ajustar o funcionamento de suas bombas em horários cuja tarifa é menor, resultando assim em uma diminuição dos custos com energia elétrica.

Fazendo uma otimização da rede de abastecimento, com dados obtidos em campo e modelagens computacionais, é possível conseguir o uso mais eficiente do sistema de bombeamento. Com estas informações consegue-se a melhor adaptação às tarifas de energia, reavaliando os contratos existentes.

Este trabalho apresenta medidas de eficiência energética voltadas para sistemas de abastecimento de água, tendo como foco os sistemas de bombeamento. O conjunto moto bomba é o responsável pela maior parte do consumo energético, sendo, também, a maior oportunidade para ações de efficientização. O estudo da redução do custo energético em sistemas de bombeamento, através de medidas de controle operacional, deve buscar soluções que visem melhorar a eficiência energética dos sistemas de abastecimento de água.

1.1 Objetivo Geral

A pesquisa tem como objetivo geral apresentar alternativas para um controle operacional mais eficiente energeticamente em um sistema de distribuição de água.

1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar um método de análise dos sistemas de distribuição de água do ponto de vista energético;
- Apresentar alternativas que sejam mais energeticamente eficientes no sistema de distribuição de água da cidade de Miranda/MS;
- Apresentar o diagnóstico operacional do sistema de abastecimento de água atual de Miranda/MS;
- Analisar os custos de energia de bombeamento atual do município;
- Apresentar as soluções operacionais energeticamente eficientes;
- Apresentar soluções econômicas mais eficientes.

1.3 Justificativa

Os usos da água e da energia elétrica estão intimamente interligados. A energia gasta para transportar a água de um lugar para outro é um gasto relevante para as empresas de saneamento. Mundialmente, a energia elétrica é um dos itens de maior gasto para as empresas que fornecem serviços de abastecimento de água. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de metodologias e técnicas que proporcionem a melhoria da gestão de energia dos sistemas de abastecimento de água. Uma gestão de energia de forma eficaz traz benefícios em termos de economia de energia e melhor entendimento dos processos que consomem energia elétrica, bem como falhas e potenciais de melhoria.

Um programa de eficiência energética analisa todos os processos envolvidos na produção, com o intuito de buscar oportunidades de se manter ou aumentar a produção, porém com a mesma qualidade e com menor consumo de energia. Este estudo procura verificar condições de operação dos equipamentos e especificá-los de maneira adequada, proporcionando assim uma redução de gastos e de consumo de energia elétrica. Assim temos as seguintes problemáticas: como realizar o diagnóstico operacional do sistema de abastecimento de água de Miranda/MS? Como analisar os custos de energia elétrica de bombeamento para os sistemas existentes?

Ao realizar um trabalho sobre eficiência energética do sistema de bombeamento na distribuição de água da cidade de Miranda/MS, é possível destacar várias contribuições relevantes. Aqui estão algumas maneiras de expressar essas contribuições:

- Avaliação da eficiência energética: o trabalho realizado teve como objetivo avaliar a eficiência energética do sistema de bombeamento na distribuição de água da cidade de Miranda/MS. Isso envolveu a coleta de dados e análise individualizada para identificar possíveis oportunidades de melhoria.
- Recomendações para melhorias: com base nos resultados obtidos, foram propostas recomendações específicas para melhorar a eficiência energética do sistema de bombeamento. Essas recomendações abrangem áreas como manutenção preventiva, substituição de equipamentos obsoletos por modelos mais eficientes, ajuste de padrões de operação e adoção de tecnologias avançadas.

- Análise de viabilidade econômica: além de avaliar a eficiência energética, o trabalho também analisa a viabilidade econômica das propostas de melhorias. Isso incluiu uma estimativa de custos de implementação, o cálculo de economias de energia potencial e um período de retorno do investimento.
- Impactos ambientais: o estudo considerou os impactos ambientais associados ao sistema de bombeamento ineficiente, destacando como as melhorias propostas podem contribuir para a redução do consumo de energia.

Essas contribuições são importantes para a cidade de Miranda/MS, pois fornecem informações valiosas para a tomada de decisões e implementação de medidas concretas visando aprimorar a eficiência energética do sistema de bombeamento na distribuição de água. Além disso, o trabalho também tem o potencial de servir como uma referência para outras cidades e pesquisador que enfrenta desafios semelhantes.

Ao pesquisar sobre eficiência energética do sistema de bombas na distribuição de água, podem-se diversas contribuições nos âmbitos científico, profissional e tecnológico. Algumas possibilidades de contribuições e produtos tecnológicos que podem ser gerados a partir desse trabalho:

- Contribuições científicas:

- Novos conhecimentos: o trabalho pode gerar novos conhecimentos sobre o desempenho energético de sistemas de bombas na distribuição de água, identificando os principais fatores que obtiveram a eficiência e propondo soluções para melhorias.
- Avanço teórico: pode contribuir para o avanço teórico no campo da eficiência energética, fornecendo percepções sobre os botões giratórios à operação das bombas e as estratégias para otimização do consumo de energia.
- Validação de métodos: caso desenvolva metodologias ou modelos específicos para avaliação da eficiência energética, a pesquisa pode validar esses métodos e fornece diretrizes para estudos futuros.

- Contribuições profissionais:

- Soluções práticas: com base nos resultados, pode-se propor soluções práticas para melhorar a eficiência energética de sistemas de bombas na distribuição de água. Isso pode incluir o design, a seleção de equipamentos e as estratégias de operação;
- Redução de custos: ao identificar oportunidades de economia de energia, o trabalho pode ajudar a reduzir os custos operacionais das empresas de distribuição de água, tornando-as mais eficientes e sustentáveis;
- Melhoria da gestão de recursos: através de análises e recomendações, pode contribuir para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos, garantindo um uso adequado e sustentável da água.
 - Produtos tecnológicos:
 - Ferramentas de simulação: desenvolver modelos computacionais ou softwares de simulação que possam avaliar o desempenho energético de sistemas de bombas e otimizar seu funcionamento;
 - Sistemas de monitoramento: com base em pesquisas, pode propor sistemas de monitoramento que acompanham o desempenho das bombas em tempo real, identificando variações na eficiência e fornecendo alertas para a manutenção preventiva;
 - Dispositivos de controle: o trabalho pode levar ao desenvolvimento de dispositivos de controle inteligentes para sistemas de bombas, permitindo a otimização automática da operação com base nas condições de demanda e eficiência energética.

Essas são apenas algumas possibilidades de contribuições e produtos tecnológicos que podem surgir do trabalho sobre a eficiência energética do sistema de bombas na distribuição de água.

Ao ingressar no Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade em 2022, houve uma oportunidade de aprofundar os conhecimentos e habilidades nessas áreas, além de explorar questões inquietantes que poderiam surgir ao longo do curso. As disciplinas cursadas durante o mestrado fornecem uma base sólida de conhecimento teórico e prático para abordar os desafios relacionados à eficiência energética e sustentabilidade. Com o conhecimento adquirido, estará mais preparado para identificar possíveis melhorias nos serviços relacionados a essas áreas. Isso pode envolver a implementação de medidas

para reduzir o consumo de energia, otimizar processos, adotar tecnologias mais limpas e sustentáveis, entre outras ações. Além disso, também poderá desenvolver estratégias para promover a conscientização e a adoção de práticas tanto na sociedade quanto no meio acadêmico. Ao contribuir para a sociedade e para o meio acadêmico, pode compartilhar as descobertas e resultados de pesquisa, participar de projetos colaborativos e colaborar com outros pesquisadores e profissionais. Isso ajudará a avançar o conhecimento nessa área e fornecerá informações valiosas para melhorias futuras e tomadas de decisão relacionadas à eficiência energética e sustentabilidade. No geral, o Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade oferece uma excelente oportunidade para aprofundar os estudos e contribuir de forma significativa para o campo acadêmico e para a sociedade como um todo, por meio de melhorias nos serviços e da promoção de práticas sustentáveis.

1.4 Estrutura do Trabalho

A estrutura do trabalho foi organizada em diversos capítulos. O trabalho se inicia com uma "Introdução", que engloba a contextualização e problematização do tema, os objetivos gerais e específicos da pesquisa, bem como uma justificativa para a realização do estudo.

Em seguida, temos a seção "Trabalhos Relacionados", que consiste na revisão da literatura existente sobre o tema de pesquisa, incluindo o levantamento de artigos científicos, dissertações e outras fontes relevantes que abordam o mesmo assunto ou temas relacionados.

A seção "Referencial Bibliográfico" (revisão de literatura) é dedicada ao levantamento e análise de artigos, dissertações e outras fontes relevantes. Nesta parte, serão apresentados os principais conceitos, teorias e resultados encontrados na literatura.

No capítulo "Metodologia", será apresentada uma descrição detalhada dos métodos e técnicas utilizadas na coleta de dados, bem como a apresentação da análise matemática e computacional aplicada.

A seção dos "Resultados" engloba a exposição das principais interpretações e contribuições alcançadas com o estudo. Este capítulo inclui a discussão sobre como os resultados obtidos podem impactar a eficiência energética do sistema de bombeamento na distribuição de água em Miranda/MS.

Finalmente, a seção de "Conclusão" encapsula as descobertas essenciais do trabalho, reforçando os objetivos alcançados e delineando possíveis direções para futuras pesquisas. Essa parte é crucial para consolidar e destacar a relevância dos resultados obtidos.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo, é apresentado uma pesquisa que combina abordagens tanto qualitativas quanto quantitativas para analisar os trabalhos publicados, incluindo materiais de cursos, artigos e revistas especializadas (periódicos), relacionados ao tema deste trabalho. A combinação dessas duas abordagens permite uma compreensão mais abrangente e aprofundada do campo de estudo.

2.1 Pesquisa bibliométrica

Fazendo uma verificação de possíveis trabalhos relacionados a esse projeto, foi realizado um levantamento bibliométrico com o tema principal de: “eficiência energética em sistema de bombeamento”, pois é um assunto importante, considerando a crescente necessidade de otimização dos recursos energéticos e a busca por soluções mais inteligentes.

A pesquisa foi realizada na plataforma de periódicos CAPES, em inglês e em português. Os títulos utilizados na primeira busca foram “sistema de bombeamento” e na segunda busca foram “eficiência energética em sistema de bombeamento”.

Os trabalhos foram apresentados a partir de ano 2011 até 2023, delimitando os artigos. O fato de selecionar os artigos mais recentes, abrangendo os últimos doze anos, é uma abordagem importante ao realizar uma pesquisa sobre eficiência energética em sistemas de bombeamento. Essa escolha considera a evolução dos materiais que compõem esses sistemas ao longo desse período.

Ao longo dos anos, eles passaram por um desenvolvimento de materiais mais eficientes e confiáveis para uso em bombas. A pesquisa em eficiência energética nessa área tem se concentrado em encontrar soluções que reduzam o consumo de energia e minimizem as perdas associadas ao processo de bombeamento.

Ao limitar a busca a artigos publicados desde 2011, é possível acessar os estudos mais recentes que exploram as tecnologias e os materiais mais atualizados disponíveis no mercado. Isso permite uma análise mais precisa das soluções de eficiência energética mais recente e suas aplicações em sistemas de bombeamento.

A seleção de artigos recentes também leva em consideração as mudanças nas regulamentações e normas relacionadas à eficiência energética. Ao longo dos anos, os padrões e requisitos legais tornaram-se mais rigorosos, estimulando a indústria a buscar soluções mais eficientes. Portanto, a pesquisa de artigos publicados nos últimos doze anos fornecerá uma visão abrangente dessas mudanças e das inovações tecnológicas correspondentes.

2.2 Resultados da busca bibliométrica

O resultado da busca é observar a quantidade de material disponível nos dois idiomas buscados gerando um total de 198 artigos (a partir de ano 2011 até 2023).

Todos estes artigos foram obtidos, verificado o título e resumo e, dessa forma, constatou-se que apenas 10 deles eram relevantes para a pesquisa, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Total de publicações por fase de pesquisa bibliométrica.

Etapas de pesquisa	Resultados
1ª Etapa	198
2ª Etapa	10

Fonte: Autor (2023).

Algumas informações sobre trabalhos relacionados a esse tema que podem ser relevantes para a pesquisa:

Dutra e Altafini (2014) pesquisaram sobre as duas melhorias para o sistema de bombeamento na região de Santa Fé, em Caxias do Sul, visando solucionar os problemas de abastecimento de água durante os horários e dias de pico de consumo. Essas melhorias foram avaliadas por meio de medições em campo e simulações em planilhas de cálculo e no *software* EPANET, utilizado para modelar sistemas de distribuição de água. A primeira melhoria consistiu na substituição dos conjuntos de bombeamento por equipamentos mais eficientes e adequados para lidar com a demanda de água da região. Essa troca resultou em um sistema de bombeamento mais eficiente, capaz de fornecer água de forma mais eficaz e com menor consumo de energia. Com a implementação dessa melhoria, estima-se uma economia mensal de aproximadamente 37,7% no consumo de energia, o que representa

uma redução considerável nos custos de operação do sistema. A segunda melhoria proposta foi a utilização de um inversor de frequência para controlar a velocidade de rotação do sistema de bombeamento. Esse dispositivo eletrônico permitiu ajustar a frequência de alimentação dos motores elétricos, possibilitando um controle mais preciso da velocidade. Essa medida contribui para a otimização do sistema, permitindo um uso mais eficiente dos recursos energéticos.

Lucena (2020) por meio de modelagem computacional buscou minimizar os custos do bombeamento de um sistema real. A programação não linear e os algoritmos genéticos da ferramenta *solver do Excel* foram aplicados para se obter o custo ótimo do bombeamento. As variáveis de decisão do modelo foram os intervalos de operação das bombas durante um ciclo de 24 horas. As principais restrições foram respeitar os limites dos reservatórios e a recuperação dos níveis, ao final do ciclo de 24 horas. As duas técnicas foram capazes de encontrar soluções viáveis, no entanto, os algoritmos genéticos confirmaram sua lentidão em relação ao Gradiente Reduzido Generalizado (GRG). Em ambas as técnicas, o horário de ponta foi minimamente alocado na operação. Com relação ao sistema estudado constatou-se que o maior responsável pelo custo operacional é a adução da Estação de Tratamento de Água (ETA) ao R5, aproximadamente 81,69%, e existe uma limitação na capacidade de bombeamento que impede o desligamento total das bombas no horário de ponta. Os seguintes consumos específicos foram obtidos: estação elevatória EE 1 (ETA-R5) 0,897 kWh/m³; EE 2 (R5-R4) 0,16 kWh/m³; EE 3 (R4-RLS) 0,617037 kWh/m³ e EE 4 (R4-RC) de 0,471852 kWh/m³. Considerando a média do subsistema estudado tem-se 0,537 kWh/m³, sendo mais eficiente a EE 2 (R5-R4) e a menos eficiente a EE 1(ETA-R5). Isso pode ser justificado pela maior demanda e por ser necessária à operação em horário de ponta com bombas de elevada potência. O investimento na melhoria do sistema é necessário para aumentar sua eficiência energética e, conseqüentemente, reduzir os elevados custos da operação.

Bouzon, Coelho e Rodriguez (2013) apresentaram um modelo de otimização em Programação Linear (PL) para o funcionamento de um sistema de distribuição de água de uma cidade no interior do estado de São Paulo, que contempla duas bombas e três reservatórios de água. Foi criado um modelo para determinar o padrão ótimo de operação para as duas bombas no período de 24 horas, a fim de minimizar o custo energético e, ao mesmo tempo, obedecer às

restrições de capacidade de reservação e atendimento da demanda. Os resultados obtidos neste trabalho mostram que a utilização da PL é satisfatória para a resolução deste tipo de problema, podendo beneficiar a empresa de saneamento, a população atendida e até mesmo o meio ambiente, ao consumir menos energia.

Kuritzza *et al.* (2017) realizaram um estudo sobre as características adimensionais das condições de operação de bombas centrífugas para estimativas prévias de projetos de sistemas de abastecimento de água visando à eficiência energética. O trabalho consistiu na análise de curvas de desempenho de bombas centrífugas das quais foram extraídas informações sobre o Ponto de Máximo Rendimento (PMR). As curvas e as equações obtidas foram “adimensionalizadas” de modo que as informações pudessem ser extrapoladas para outras situações. Foi pesquisado um estudo de caso no sistema de abastecimento de água do Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para demonstrar a aplicação das equações e curvas desenvolvidas. As equações adimensionais foram úteis para determinar qual vazão nominal deveria ser adotada para que o sistema fosse mais eficiente hidroenergeticamente e, também, para determinar quanto de energia seria consumida a mais caso o ponto de funcionamento da bomba fosse alterado por válvula de estrangulamento.

Zocoler *et al.* (2011) pesquisaram um modelo matemático para quantificar o efeito da variação do rendimento da bomba hidráulica na variação dos custos de um sistema de bombeamento, na estrutura tarifária Horária Verde (subgrupo A4) e o tempo de recuperação do capital investido no equipamento de maior rendimento. Em seguida, foi aplicado um sistema de bombeamento para suprimento de um sistema de irrigação do tipo pivô central. As opções de rendimento da bomba hidráulica foram: 69,5% (bomba 1), 73% (bomba 2) e 78% (bomba 3), cujos custos de aquisição foram, respectivamente, R\$ 6.176,00, R\$ 8.479,00 e R\$ 15.509,00. Os resultados da aplicação do modelo mostraram que: i) a substituição da bomba 1 pela bomba 2 foi viável, sendo o período de recuperação de capital 3,4 anos; ii) a substituição da bomba 1 pela bomba 3 foi viável, sendo o período de recuperação de capital 9,2 anos; iii) a substituição da bomba 2 pela bomba 3 foi inviável, sendo o período de recuperação de capital 21,1 anos superior ao período de amortização do investimento na avaliação econômica, considerado 15 anos.

Sousa e Soares (2021) desenvolveram um modelo multiobjetivo para otimização da operação de Sistemas de Distribuição de Água (SDAs), visando alcançar a eficiência hidroenergética considerando três objetivos: redução das perdas por vazamento; redução do custo de energia elétrica no bombeamento; e maximização da confiabilidade do sistema. O modelo de otimização foi concebido pela implementação de uma rotina computacional entre os algoritmos genéticos NSGAI e SPEA e o simulador hidráulico EPANET. O modelo foi aplicado a um SDA hipotético e demonstrou ser adequado para gerar um conjunto ótimo de regras operacionais. Dentre as soluções geradas pelos dois algoritmos, constatou-se que a diminuição do custo de energia elétrica no bombeamento não implicou, necessariamente, redução das perdas por vazamentos, ou seja, os dois objetivos podem ser conflitantes em SDAs caracterizados pela presença de reservatórios internos.

Caldo *et al.* (2008) realizaram um estudo de caso no desenvolvimento de uma ferramenta operacional para o sistema de abastecimento de água de Coxim, Mato Grosso do Sul, utilizando modelagem hidráulica com o *software* EPANET 2.0. A ferramenta desenvolvida permite a simulação e análise de operações, automação do sistema, elaboração de planos de contingência, simulação de alterações, identificação de fugas e consumos indevidos no sistema, levando em consideração a demanda real. A avaliação do modelo que o sistema está em conformidade com os critérios estabelecidos pela literatura e normas vigentes em relação à pressão na rede. No entanto, foram observadas velocidades inferiores aos limites definidos. A ferramenta operacional desenvolvida, alimentada com dados operacionais e comerciais, mostrou-se versátil, acessível e confiável, podendo ser utilizada na rotina operacional do sistema de abastecimento de água de Coxim/MS, proporcionando uma melhor gestão e controle do sistema.

Sobrinho e Borja (2016) foram realizados a gestão das perdas de água e energia nos sistemas de abastecimento operados pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA) na região metropolitana de Salvador, Brasil. A pesquisa foi baseada em análise documental e avaliação de dados, visando identificar os fatores que influenciaram na eficiência desses sistemas. Os resultados da pesquisa revelaram que, apesar da implementação de programas específicos, as perdas de água ainda se mantinham em níveis elevados, enquanto as ações ajustadas para eficiência energética foram mais bem-sucedidas. Esses programas implementados pela Embasa foram focados principalmente em medidas

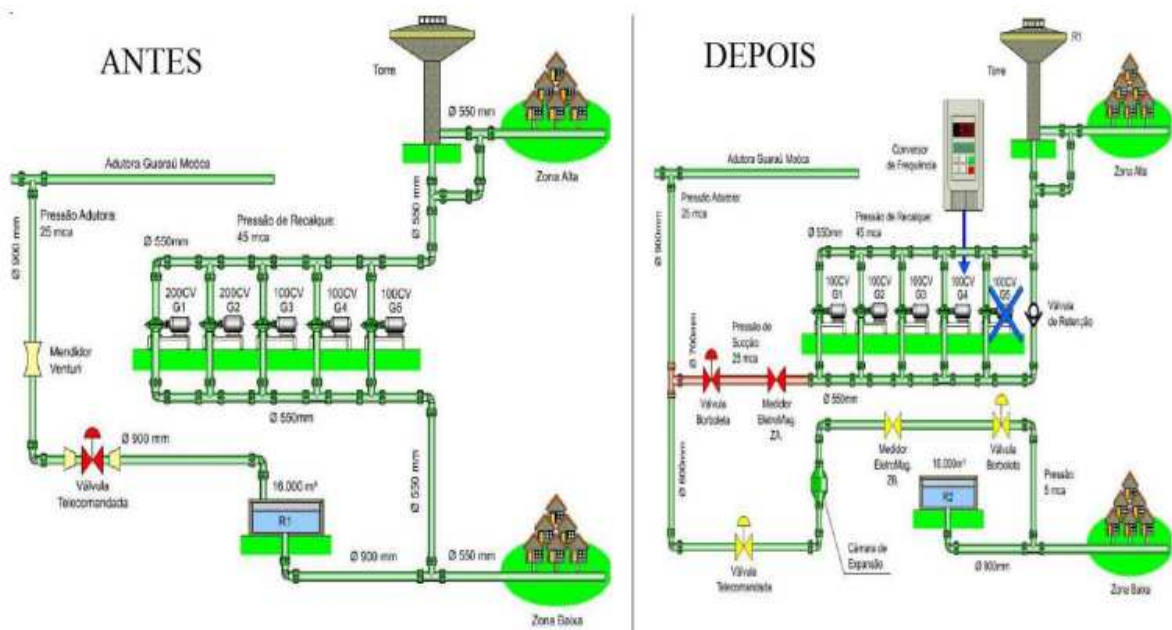
técnico-operacionais, sendo identificada a necessidade de um planejamento mais detalhado por parte da empresa. Concluiu-se que o sucesso das ações para o uso eficiente da água e energia requer a superação de abordagens parciais e direcionadas apenas para a dimensão técnico-operacional. É necessário incorporar a noção da complexidade dos sistemas de abastecimento, bem como adotar uma abordagem intersetorial e integrada, considerando diversos aspectos relacionados à gestão e governança desses recursos.

Guanais *et al.* (2017) analisaram os encargos energéticos decorrentes do Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Feira de Santana (SIAA-FSA) utilizando o método de avaliação do ciclo de vida. Foram identificadas, na cadeia de abastecimento de água, as etapas do sistema com maiores encargos energéticos, e propostos cenários de melhoria. Cadeias de produção dos insumos químicos, transporte dos insumos, energia elétrica e substituição dos tubos na rede para a manutenção do SIAA-FSA foram consideradas. A demanda energética acumulada do SIAA-FSA foi de 3,51 kWh.m⁻³ de água consumida. As etapas de captação e distribuição de água apresentaram os maiores consumos energéticos, e a eletricidade do bombeamento representou 86% da demanda energética acumulada. Os cenários propostos para o SIAA-FSA apresentaram melhorias significativas em relação ao cenário atual, com usos mais racionais de insumos químicos, eletricidade e água.

Braghiroli *et al.* (2011) destacaram a reestruturação focada na eficiência e otimização de processos do sistema de distribuição de água do bairro Santana localizado na zona norte de São Paulo. Foi realizada análise através do banco de dados das contas de energia elétrica da Sabesp, que possibilitou a identificação de instalações cujo preço médio era superior aos valores aceitáveis para cada tipo de instalação. Constatou-se que a estação elevatória de Santana se enquadrava nesse perfil. Diante desse cenário, algumas propostas foram feitas no sentido de controlar e reduzir os custos operacionais, e dentre elas foi proposto à instalação de um inversor de frequência e três *soft-starters* para o abastecimento da zona alta, configurados para operar com a pressão da adutora e não mais pelo nível da torre. Podem-se observar, a partir da Figura 1, as intervenções realizadas na estação elevatória de água de Santana. Com a conclusão do projeto de eficiência energética, foram contabilizados ganhos técnicos, como a correção do fator de potência e redução do consumo de energia elétrica; ganhos ambientais, através da redução de 33% nas perdas reais de água do sistema e redução em 54% da demanda de energia pelo sistema de bombeamento; ganho social,

admitindo-se que o volume de água referente a redução das perdas reais (341.026 m^3) que pode após estas medidas abastecer mais de 20.000 famílias; ganhos econômicos, tendo em vista que o gasto médio mensal com energia elétrica foi reduzido de R\$56.600,00 para R\$28.000,00 e que o retorno do recurso investido se deu após quatro meses de operação do sistema implementado. Os ganhos vieram da economia no consumo de energia e na compra de água.

Figura 1. Configurações antiga e atual da estação elevatória de água de Santana



Fonte: Adaptado (Braghiroli *et al.*, 2011).

Esses são apenas alguns exemplos de trabalhos relacionados à eficiência energética em sistemas de bombeamento. É importante realizar uma pesquisa mais aprofundada para identificar outros estudos relevantes.

A Tabela 2 apresenta os principais trabalhos que foram utilizados no desenvolvimento deste projeto, incluindo o ano, os autores, o local de publicação, a área de pesquisa e as principais relevâncias. Alguns desses trabalhos mais relevantes serão apresentados com mais detalhes.

Tabela 2. Trabalhos que contribuíram com o desenvolvimento do projeto

Título do trabalho	Autores	Local de publicação / Ano	Importância para a atual pesquisa
Análise de sistema de bombeamento sob o enfoque da eficiência energética, SAE - Araguari/MG	Ciciane Chiovatto; Décio Bispo; Jan Henrique Santos Ferraz; Wellington Maycon Santos Bernardes (Universidade Federal de Uberlândia - Uberlândia/MG)	Researchgate - IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética (Universidade Federal de Juiz de Fora) - Em 14 de fevereiro de 2015	A pesquisa sobre eficiência energética em sistemas de bombeamento é importante para melhorar o desempenho operacional, reduzir custos, promover a sustentabilidade ambiental e garantir o cumprimento das regulamentações. Essa abordagem beneficia tanto a empresa quanto a sociedade como um todo.
Sistema de controle adaptativo aplicado a um sistema de distribuição de água de água com ênfase na eficiência energética	Magno José Gomes da Silva; Clivaldo Silva de Araújo; Saulo de Tarso Marques; Simplício Arnaud; Cícero da Rocha Souto; Heber Pimentel Gomes (Trabalho realizado no Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba UFPB – João Pessoa/PB, Brasil)	Artigo Técnico - Eng Sanit Ambient v.20 n.3 jul/set 2015 405-413	A pesquisa em sistemas de controle adaptativo aplicados à distribuição de água com ênfase na eficiência energética é relevante para a atualidade, pois busca soluções que contribuam para a eficiência energética, a gestão sustentável dos recursos hídricos e a redução de custos nos sistemas de distribuição de água. Essas são questões importantes para a sociedade, o meio ambiente e as organizações envolvidas nesse setor.
Mapeamento tecnológico da aplicação de redes neurais para eficiência energética de sistemas de bombeamento	Ákilas Girão Modesto; Flávio da Costa Almeida; Wanderson da Silva Corrêa; Márcio Zamboti Fortes (Universidade Federal Fluminense - UFF)	REVISTA DE TECNOLOGIA APLICADA (RTA) v.11, n.3, p. 82-95. Set-Dez 2022	A importância dessa pesquisa reside na aplicação de sistemas inteligentes, como redes neurais, para aumentar a eficiência energética das bombas industriais. Isso traz benefícios econômicos, operacionais e ambientais, contribuindo para a sustentabilidade e a competitividade das empresas no mercado.
Eficiência elétrica e distorções harmônicas com o uso dos conversores de frequência nos sistemas de bombeamento de água	Arnulfo Barroso de Vasconcellos; Dr. Ângelo Bernardo Bridi; Luciana Oliveira da Silva Lima; Carlos Henrique Beuter; Teresa Irene Ribeiro de Carvalho Malheiro; (Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT)	Engineering and Science - Scientific Journal of FALET and ICET UFMT - 2014	A pesquisa atual contribui para o avanço do conhecimento ao mostrar as vantagens do uso de conversores de frequência em sistemas de bombeamento de água, mas também ressalta a necessidade de considerar e gerenciar as distorções harmônicas resultantes. Isso promove uma abordagem mais abrangente e informada para o projeto e operação desses sistemas, visando a eficiência energética e a qualidade da energia fornecida pela rede elétrica.

Otimização de sistema de abastecimento de água para a redução do custo com energia elétrica: um estudo de caso	Clayton Alexandre Pereira; André Luiz Andreoli (Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP)	UNESP Institutional Repository - outubro/2021	A pesquisa sobre otimização de sistemas de abastecimento de água para redução do custo com energia elétrica é importante para melhorar a eficiência operacional, reduzir os custos, promover a sustentabilidade e aumentar a vida útil dos equipamentos. Esses benefícios têm um impacto direto nas finanças das empresas prestadoras de serviços de saneamento básico e na qualidade do abastecimento de água oferecido à população.
Dimensionamento de motores para o bombeamento de água	Delly Oliveira Filho; Marcos C. Ribeiro; Everardo C. Mantovani; Antônio A. Soares; Haroldo C. Fernandes	SCIELO BRAZIL - Eng. Agríc. Jaboticabal, v.30, n.6, p. 1012-1022, nov./dez. 2010	A importância dessa pesquisa para o contexto atual reside na possibilidade de otimizar o dimensionamento de motores, garantindo um desempenho eficiente dos sistemas de bombeamento de água. Isso pode resultar em economia de custos, maior eficiência energética e redução do impacto ambiental. Além disso, o conhecimento sobre o dimensionamento adequado de motores para bombas hidráulicas pode ser aplicado em projetos e setores relacionados, como engenharia civil, agricultura, indústria de água e saneamento, entre outros.
Velocidade econômica de escoamento e custos de energia de bombeamento	Bruno L. T. Perroni; Jacinto de A. Carvalho; Lessandro C. Faria	SCIELO BRAZIL - Eng. Agríc. Jaboticabal, v.31, n.3, p. 487-496, maio/jun. 2011	A pesquisa fornece informações valiosas e ferramentas práticas para os agricultores, permitindo que eles otimizem o uso da água e da energia, reduzam os custos operacionais e aumentem a eficiência dos sistemas de irrigação. Isso é fundamental para garantir a sustentabilidade econômica e ambiental da agricultura irrigada, contribuindo para o desenvolvimento agrícola e a segurança alimentar.
Metodologia de diagnóstico energético em estação de captação de água	Delly Oliveira Filho; Ricardo P. Sampaio; Maria J. de Moraes; Tarcísio de A. Pizziole; Jorge H. A. de C. Damião	Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Campina Grande/PB - UAEEA/UFCG - agosto/2011	A pesquisa sobre a metodologia de diagnóstico energético em estações de captação de água é importante para promover a eficiência energética, a conservação dos recursos hídricos, a redução de custos e a aplicabilidade prática em diferentes contextos. Essa pesquisa contribui para a sustentabilidade ambiental, econômica e social, buscando soluções mais eficientes e responsáveis na gestão dos sistemas de captação de água.

Fonte: Autor (2023).

3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Neste capítulo é apresentada a base teórica relevante ao tema dessa dissertação, bem como, os principais conceitos e elementos que justificam a abordagem do problema da pesquisa.

3.1 Consumo de energia elétrica no sistema de abastecimento de água

Em muitas companhias de saneamento no Brasil, o consumo com energia elétrica é a segunda maior despesa dos sistemas de abastecimento de água, no qual estão incluídas atividades de captação, tratamento, transporte e distribuição de água (MOREIRA, 2018).

O uso intensivo das elevatórias é o mais importante consumidor de energia elétrica nos SAA's, e isso tem elevado o custo de energia elétrica, sendo um dos principais custos operacionais das prestadoras de serviços de saneamento básico (TSUTIYA, 2006).

De acordo com Castanho e Dutra (2014), a maioria dos sistemas de bombeamento atualmente existentes no Brasil, responsáveis pelas elevatórias de água bruta, potável e residuárias foram projetadas e construídas sem a preocupação com o custo da energia elétrica. Isso porque era fortemente subsidiada e não onerava muito o custo operacional das estações de bombeamento.

A energia elétrica é indispensável na operação dos sistemas de abastecimento de água e com o aumento constante do preço da eletricidade, existe a necessidade de investir em soluções mais eficientes para reduzir os seus custos elevados (RAMOS et al., 2010; FREITAS, 2016; OZCELIK, 2017).

Neste contexto, Moura (2010) destaca a importância de incentivar novas práticas e procedimentos os quais possam oferecer o mesmo produto e/ou serviço, com redução de custo com energia elétrica.

Um dos fatores relevantes e que deve ser considerado na análise de redução de custo com energia elétrica é a análise tarifária. Como este é um assunto com inúmeros detalhes e que será objeto de avaliação, na seção seguinte é apresentada uma descrição deste tema, com o intuito de facilitar o entendimento da metodologia e resultados do trabalho.

3.2 Tarifas de energia elétrica

Devido às crises energéticas e a necessidade de controle das despesas de operação nas companhias, os estudos sobre soluções para a diminuição dos custos de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água estão se tornando cada vez mais intensos nos últimos anos.

Uma das soluções para reduzir os custos de energia elétrica está relacionado ao entendimento detalhado das características do sistema tarifário brasileiro, visando conhecer a forma de cobrança mais adequada para obter a redução dos custos (MACHADO, 2005).

No Brasil, as tarifas de energia elétrica são determinadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece também os critérios de classificação dos consumidores e as formas de cobrança de energia elétrica. Uma unidade consumidora é classificada em função da atividade exercida e, para efeito de faturamento, os consumidores são classificados em dois grupos: Grupo A (alta tensão) e Grupo B (baixa tensão) (MOREIRA, 2018).

A ANEEL é uma autarquia em regime especial, vinculada ao Ministério de Minas e Energia e foi criada para regular o setor elétrico brasileiro. A agência define os critérios de classificação dos consumidores, a forma de cobrança e as tarifas aplicadas (GUEDES, 2011).

Existe uma diferenciação de preço em algumas tarifas considerando o consumo de energia no Horário de Ponta (HP) ou Horário Fora de Ponta (HFP). O HP é o período de três horas consecutivas do dia, exceto sábado, domingos e feriados nacionais, definidos pela concessionária em função das características do sistema elétrico. Já o HFP refere-se as demais 21 horas do dia (GUEDES, 2011). Os valores da energia no HP são mais elevados que no HFP. Os consumidores ainda são classificados de acordo com o nível de tensão em que são atendidos.

De acordo com a resolução Normativa 1000/2021 (2021) da ANEEL, a tarifa em energia elétrica é exemplificada como sendo o valor monetário fixado em reais, por unidade de energia elétrica ativa ou de demanda de potência ativa. O sistema tarifário brasileiro é dividido em dois grandes grupos, conforme demonstrado a seguir:

- Grupo A: grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão maior ou igual a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão menor que 2,3 kV, e subdividido nos seguintes subgrupos:
 - a) subgrupo A1: tensão de conexão maior ou igual a 230 kV;
 - b) subgrupo A2: tensão de conexão maior ou igual a 88 kV e menor ou igual a 138 kV;
 - c) subgrupo A3: tensão de conexão igual a 69 kV;
 - d) subgrupo A3a: tensão de conexão maior ou igual a 30 kV e menor ou igual a 44 kV;
 - e) subgrupo A4: tensão de conexão maior ou igual a 2,3 kV e menor ou igual a 25 kV;
 - f) subgrupo AS: tensão de conexão menor que 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição;

- Grupo B: grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão menor que 2,3 kV e subdividido nos seguintes subgrupos:
 - a) subgrupo B1: residencial;
 - b) subgrupo B2: rural;
 - c) subgrupo B3: demais classes;
 - d) subgrupo B4: Iluminação Pública;

As empresas de saneamento básico são classificadas como consumidores do Grupo A. Os consumidores deste grupo são faturados com componentes de demanda e de consumo. A cobrança de tarifas para esse grupo pode ser feita pela tarifação Horária Azul ou Horária Verde. Estes sistemas tarifários são comentados pela Resolução Normativa nº 783 (2017) da ANEEL e os do grupo A serão brevemente descritos.

Na modalidade tarifária azul, existem preços diferenciados de demanda e consumo, de acordo com as horas do dia (HP e HFP). Ou seja, as tarifas da demanda de potência e de consumo de energia elétrica no HP são mais elevadas que nos demais horários.

De acordo com Guedes (2011), exige-se um contrato mais específico de demanda em que há uma diferenciação, HP e HFP. A conta de energia é calculada considerando as parcelas de consumo, demanda e ultrapassagem de demanda (quando houver).

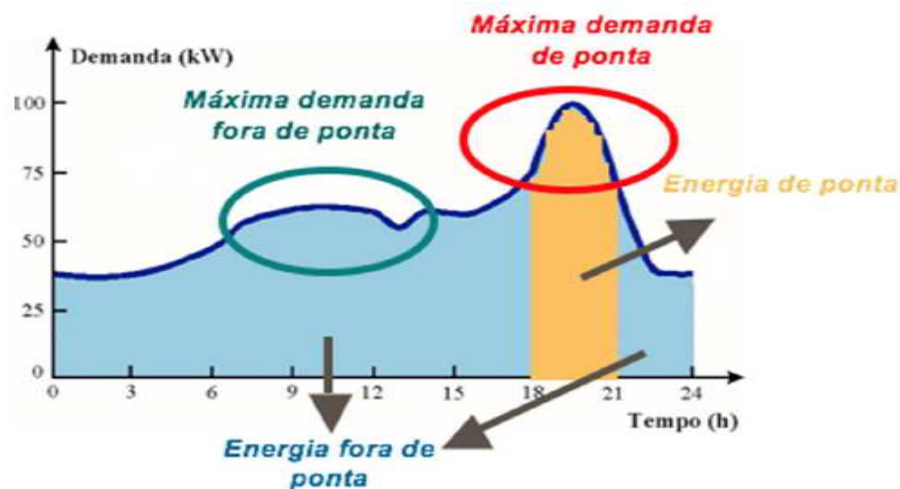
A modalidade tarifária verde é caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas para o consumo de energia elétrica (kWh) de acordo com as horas de utilização no dia e com os períodos do ano, bem como uma única tarifa para demanda de

potência (kW). As tarifas de consumo de energia na HP são mais elevadas do que as do HFP (GUEDES, 2011).

A concessionária responsável pelo fornecimento de energia elétrica deve ter capacidade para suprir as demandas de consumo no HP e HFP, no caso, 24 horas. A carga média do posto horário de ponta é chamada de carga de base e a carga média das três horas do horário de ponta é chamada de carga de ponta (MOREIRA, 2018).

Para obter melhor equilíbrio do sistema de geração, é utilizada durante o dia nos HFP, a energia das hidrelétricas, mantendo o suprimento da carga de base (SANTOS, 2014). Todavia, quando o consumo aumenta, são utilizadas as termelétricas, o que tem maior custo. Na Figura 2 são mostradas características genéricas de uma curva do desempenho de bombeamento de água em um SAA nos postos HP e HFP.

Figura 2. Curva nos postos horários ponta e fora de ponta



Fonte: Moreira (2018).

Segundo Tsutiya (2001), apresenta aspectos relevantes para a redução do custo de energia elétrica em EEA, no caso, o desligamento total ou parcial dos Conjuntos Motobombas (CMB's) em HP. Além disso, destacam-se as ações de operação de reservatórios; análise da evolução do consumo setorial; observação das características das bombas; controle de estações elevatórias; estudo e ampliação de reservação de água.

Tsutiya (2001) propõem ainda, condições necessárias para viabilizar o desligamento dos CMB's no HP, para isto, é essencial que o volume necessário para atender a demanda no HP seja menor ou igual ao volume útil do reservatório.

Para isso, a operação dos CMB's precisa ser concebida e operada em função da capacidade de armazenamento da água no sistema, sempre observando o consumo de energia elétrica necessária para o atendimento da demanda de água da área atendida.

4 METODOLOGIA

O processo de levantamento bibliográfico foi uma etapa essencial para obter informações relevantes e embasadas sobre a eficiência energética em sistemas de bombeamento na distribuição de água da cidade de Miranda/MS. Essa coleta de dados e análises foram fundamentais para embasar os estudos e as tomadas de decisões relacionadas ao tema.

Durante o levantamento bibliográfico foram consultadas diversas fontes de dados secundários, como normas técnicas, livros, artigos científicos, dissertações, teses e outros materiais relevantes. Essas fontes forneceram informações sobre procedimentos técnicos, normas, controles, tecnologias e boas práticas relacionadas à eficiência energética em sistemas de bombeamento.

As normas técnicas são referências importantes, pois estabelecem critérios e diretrizes para a execução de projetos, instalação e manutenção de sistemas de bombeamento, e podem fornecer orientações sobre o dimensionamento adequado de equipamentos, requisitos de eficiência energética e procedimentos de teste.

Os livros, artigos científicos, dissertações e teses abordam estudos e pesquisas realizadas por especialistas na área, apresentando análises mais aprofundadas sobre o assunto. Essas publicações científicas podem fornecer dados atualizados, resultados de estudos de casos, metodologias de análise e recomendações para melhorar a eficiência energética em sistemas de bombeamento.

Além disso, a consulta a outros materiais relevantes, como relatórios técnicos e documentos de organizações especializadas, podem fornecer informações específicas sobre tecnologias, inovações e experiências bem-sucedidas em eficiência energética.

A presente pesquisa possui um objetivo descritivo, cujo propósito é investigar com precisão os fatos e acompanhar os fenômenos reais que ocorrem nos sistemas de bombeamento. Para alcançar esse objetivo será adotada uma abordagem multidisciplinar, envolvendo a análise do objeto de estudo a partir de diferentes campos do conhecimento científico. Ou seja, uma abordagem multidisciplinar permitirá uma análise abrangente dos sistemas de bombeamento, considerando múltiplos aspectos e perspectivas relevantes.

Neste contexto, serão explorados fatores como a estrutura dos sistemas, as propriedades hidráulicas, as questões ambientais, os aspectos elétricos, a gestão energética, além das abordagens relacionadas à automação e aos métodos de controle de operação.

A pesquisa foi conduzida na área de Engenharia e tem uma abordagem quantitativa. Para coletar os dados foram utilizados medidores de pressão, de vazão e outros instrumentos adequados. Esses foram aplicados em situações reais de operação, utilizando os equipamentos de estudo. Destaca-se que essa pesquisa possui uma natureza objetiva, focando na análise quantitativa dos dados coletados. Também foram aplicados métodos matemáticos e econométricos para descrever as causas e as relações entre as possíveis questões observadas.

O estudo realizado também é classificado como pesquisa aplicada, cujo objetivo é solucionar problemas reais e operacionais relacionados à eficiência energética em sistemas de bombeamento na distribuição de água, com ênfase na melhoria da qualidade e segurança do sistema como um todo. Para a coleta de dados, além das fontes secundárias também foram obtidos dados das fontes primárias, sendo que todos os dados foram coletados pelo próprio pesquisador no ambiente de estudo.

Diante do exposto, o trabalho tem como proposta fazer um estudo de caso para analisar o sistema de abastecimento de água do município de Miranda de uma forma ampla e detalhada, investigando o consumo de energia e custos associados aos sistemas de bombeamento.

Considerar-se-á a continuidade do abastecimento de água e a capacidade dos reservatórios, além dos custos energéticos e a busca por uma rotina operacional mais eficiente e econômica. Uma análise abrangente dos sistemas de bombeamento será realizada em todos os bairros de Miranda/MS, com a coleta de dados sobre o consumo atual de energia elétrica, a verificação das condições de operação dos equipamentos existentes, a especificação adequada dos equipamentos necessários, a implementação de medidas e recomendações que visem a redução dos gastos e do consumo de energia elétrica.

A pesquisa envolve, portanto, uma avaliação técnica e econômica da otimização de operação do sistema de distribuição de água, em vários bairros da cidade de Miranda, no estado de Mato Grosso do Sul. Para a determinação da viabilidade da proposta foi

considerada, além da garantia da continuidade do abastecimento e a capacidade dos reservatórios, o custo energético, de modo a traçar uma rotina operacional mais eficiente e econômica. Neste estudo verificou-se as condições de operação dos equipamentos e procurou especificá-los de maneira adequada.

O sistema operacional é outro item que foi levado em consideração nos estudos de redução do consumo de energia elétrica. Muitas vezes o modo como o sistema é operado não é o mais adequado, exigindo o funcionamento de equipamentos em períodos desnecessários, com potências superiores, entre outros problemas. Isso ocorre devido, principalmente, ao uso de equipamentos inadequados no sistema, às adaptações ao aumento da demanda da rede sem o devido estudo e a escassez de recursos financeiros para elaboração de projetos.

Em termos de tarifação, é importante saber que a cobrança é realizada de forma diferente das contas residenciais. No caso estudado, há uma divisão entre a demanda e o consumo de energia, pois a contratação é em média tensão, com enquadramento horário. Para constatação da redução do consumo de energia elétrica e da demanda utilizada pelas estações elevatórias no Horário de Ponta (HP), foi realizado um estudo para quantificar o consumo e a demanda de energia elétrica nos Horários de Ponta (HP) e Fora de Ponta (HFP) durante o período analisado. Também fez-se análise dos custos de cada elevatória e as tarifas de energia Horária Azul e Horária Verde.

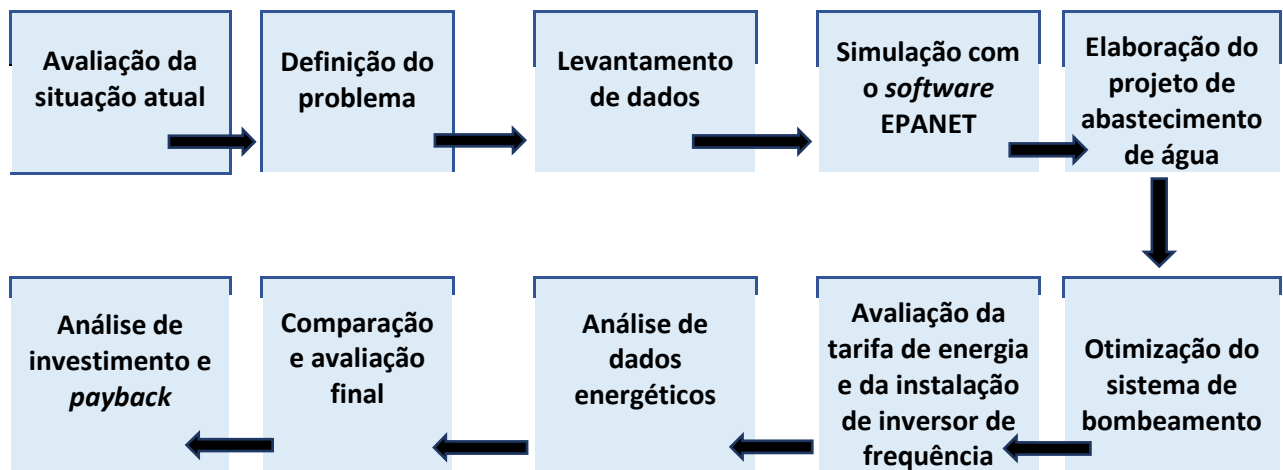
Para a redução de custos com energia elétrica é muito importante buscar eficiência nas operações, entretanto, algumas medidas administrativas também podem proporcionar economia significativa nas contas. A metodologia utilizada para a análise da redução de custo de energia elétrica baseia-se em ações administrativas e operacionais.

Cabe ressaltar que a cidade de Miranda/MS enfrenta desafios relacionados à eficiência operacional de seu sistema de distribuição de água, especialmente no que diz respeito aos altos custos de energia elétrica associados ao bombeamento. Esta proposta visa apresentar um plano detalhado de melhorias que possam ser integradas para reduzir esses custos, otimizando o sistema de abastecimento de água e incorporando tecnologias modernas.

4.1 Fluxograma da metodologia

O fluxograma da metodologia, ilustrado na Figura 3, foi organizado em 10 fases distintas, cada uma com objetivos específicos relacionados ao estudo sobre eficiência energética no sistema de distribuição de água da cidade de Miranda/MS.

Figura 3. Fluxograma da metodologia



Fonte: autor, 2023.

A seguir, será apresentada uma breve descrição de cada fase:

➤ Fase 1: Avaliação da situação atual

Para iniciar o processo de melhoria, foi essencial compreender a situação atual do sistema de distribuição de água em Miranda. Isso incluiu a análise da infraestrutura existente, localização das redes de abastecimento e pontos de consumo, bem como o mapeamento das instalações de bombeamento.

➤ Fase 2: Definição do problema

Na identificação do problema foi necessário verificar junto com a Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul (SANESUL) a possibilidade de aprimorar a operação e reduzir os custos de energia elétrica nas bombas do sistema de distribuição de água da cidade de Miranda/MS. Isso envolveu considerar medidas como a substituição ou redimensionamento das bombas, a troca das antigas redes de cimento amianto por PVC, a instalação de uma nova adutora para otimização do sistema, a implantação de um novo

reservatório com maior capacidade e a implementação de estratégias de gerenciamento de energia, como o uso eficiente de equipamentos na HFP e HP.

➤ **Fase 3: Levantamento de dados**

A cidade de Miranda/MS encontra-se em um processo contínuo de modernização e aprimoramento de seu sistema de abastecimento de água. Essa iniciativa visa não apenas garantir o fornecimento de água potável de qualidade aos seus habitantes, mas também otimizar a eficiência operacional do sistema.

- Detalhes do levantamento de dados:

- Implantação do Novo Reservatório;
- Substituição das Redes e Nova Adutora;
- Substituição ou Redimensionamento das Bombas;
- Integração com Tarifas de Energia;
- Utilização do Inversor de Frequência na Bomba.

➤ **Fase 4: Simulação com o *software* EPANET**

O *software* EPANET foi utilizado para simular o comportamento hidráulico do sistema proposto. Foi possível, desta forma, comparar diversas configurações do sistema, analisando vazões e pressão em diferentes cenários. Com base nesses resultados, foram identificadas as melhores alternativas para aprimorar a distribuição de água, garantindo uma maior eficiência hidráulica e menores perdas ao longo da rede.

➤ **Fase 5: Elaboração do projeto de abastecimento de água**

Com base na avaliação da situação atual foi elaborado um projeto detalhado de abastecimento de água. Isso envolveu a identificação de áreas com deficiência de abastecimento, o dimensionamento das redes de distribuição e a localização estratégica de pontos de bombeamento, desta forma:

- Iniciou-se o processo de melhoria seguindo um estudo detalhado da rede de abastecimento de água por meio de modelagem hidráulica utilizando o *software* EPANET. Com esse estudo, pôde-se identificar pontos de ineficiência, áreas com baixa pressão e possíveis vazamentos;

- Substituição de tubulações, adutoras e bombas obsoletas, bem como a implantação de um novo reservatório e instalação de peças e registros modernos, possibilitando o sistema de abastecimento de água tornar-se mais confiável e resistente às falhas, com resultados de fornecimento contínuo e estável de água para a população.

➤ **Fase 6: Otimização do sistema de bombeamento**

Nesta fase, foram identificadas as oportunidades para otimizar o sistema de bombeamento. Isso incluiu a substituição de bombas antigas por modelos mais eficientes, o redimensionamento das bombas de acordo com as necessidades reais e a avaliação da viabilidade da instalação de inversores de frequência para controle de velocidade das bombas.

➤ **Fase 7: Avaliação da tarifa de energia e da instalação de inversor de frequência**

- Tarifa de energia (HP e HFP)

O gasto com a tarifa de energia foi calculado com a bomba sendo utilizada durante a HP e obteve-se o custo específico associado ao consumo de energia elétrica por essa bomba durante os períodos de maior demanda de eletricidade, conhecidos como horários de pico. Geralmente, as concessionárias de energia elétrica programam diferentes tarifas ao longo do dia para refletir a variação na demanda de energia e incentivar um consumo mais eficiente.

Durante a HP, que geralmente compreende algumas horas do dia em que a demanda por eletricidade é mais alta, as tarifas de energia podem ser significativamente mais caras do que em outros momentos. Isso é feito para desencorajar o consumo excessivo de energia durante esses períodos críticos e para evitar sobrecargas na rede elétrica.

- Instalação de inversor de frequência

Os inversores de frequência são dispositivos utilizados para controlar a velocidade e a potência de motores elétricos. Eles podem ser uma ferramenta eficaz para otimizar o consumo de energia em sistemas de bombeamento, permitindo ajustar a velocidade da bomba de acordo com a demanda atual. Isso pode levar a economias significativas de energia, já que nem sempre é necessário operar as bombas em sua capacidade máxima.

Com este propósito, avaliou-se a instalação de um inversor de frequência na bomba do sistema padrão, quantificando a redução no consumo de energia elétrica com a implementação do inversor.

➤ **Fase 8: Análise de dados energéticos**

A análise de dados energéticos foi uma abordagem crucial para compreender o consumo de energia ao longo do tempo e identificar padrões que pudessem levar a melhorias na eficiência energética dos sistemas de bombeamento na distribuição de água da cidade de Miranda/MS. Segue os passos que podem ser seguidos para coletar e analisar esses dados:

- Coleta de dados:

- Obter acesso aos registros de consumo de energia dos sistemas de bombeamento da distribuição de água em Miranda/MS. Esses registros foram obtidos junto à empresa responsável pelo fornecimento de água e energia e/ou através de sistemas de monitoramento instalados nos próprios sistemas de bombeamento.

- Coletar dados ao longo de um período representativo, que pode ser de pelo menos um ano, para abranger diferentes condições sazonais.

- Organização dos dados:

- Organizar os dados em uma planilha ou *software* de análise para facilitar a visualização e processamento. Os dados contêm informações como data, horário e consumo de energia.

- Avaliação de eficiência:

- Comparar os picos de consumo com a capacidade operacional dos sistemas de bombeamento para identificar se estão operando perto ou acima da capacidade máxima. Isso pode indicar possíveis ineficiências no dimensionamento dos sistemas.

- Identificar se existem momentos de consumo excessivo que possam ser reduzidos através de estratégias de gerenciamento, como distribuição de água em horários alternativos.

- Recomendações e melhorias:

Com base na análise dos dados, foram propostas recomendações para otimizar a operação dos sistemas de bombeamento e reduzir o consumo de energia. Isso incluiu ajustes nos horários de operação, otimização do dimensionamento dos equipamentos, investimento em tecnologias mais eficientes, entre outras medidas.

➤ **Fase 9: Comparação e avaliação final**

Neste estudo, realizou-se uma comparação detalhada entre o sistema de bombeamento atualmente em uso na distribuição de água na cidade de Miranda/MS e um sistema padrão de referência. Essa análise abrangente concentrou-se em diversos indicadores de desempenho, incluindo a eficiência do sistema, economia de energia e qualidade do abastecimento de água.

- Eficiência do sistema:

A eficiência do sistema de bombeamento foi um dos principais parâmetros a serem avaliados. Um estudo detalhado foi conduzido para comparar a eficiência dos sistemas atuais e o padrão. Isso incluiu a medição do consumo de energia elétrica dos equipamentos de bombeamento, bem como a análise das perdas de pressão ao longo da rede de distribuição. Com base nesses dados, foi possível avaliar qual sistema apresenta um desempenho mais eficiente em termos de energia consumida para fornecer a quantidade necessária de água:

- Economia de energia: É um fator crucial em sistemas de bombeamento, visto que o consumo de energia elétrica é um dos principais custos operacionais. Foi realizada uma análise comparativa das quantidades de energia consumida pelos sistemas atuais e o padrão para atender à demanda de água da cidade. Além disso, foram consideradas soluções de implementação de tecnologias mais eficientes, como motores de alta eficiência, inversores de frequência e estratégias de controle otimizadas. Os resultados permitiram determinar qual sistema oferece maior economia de energia. - Avaliação dos resultados: Regularmente, avaliou-se os resultados das medidas implementadas. Isso incluiu comparar os dados de consumo de energia antes e depois das mudanças para verificar a eficácia das soluções adotadas.

➤ **Fase 10: Análise de investimento e *payback***

Finalmente, elaborou-se um plano de controle de investimento necessário para implementar as propostas de melhorias, incluindo custos de equipamentos, instalação e treinamento. Realizou-se também um cálculo de retorno simples para estimar o tempo necessário para recuperar o investimento por meio das economias de energia alcançadas.

A análise de investimento é o processo de avaliar se um projeto ou investimento é viável do ponto de vista financeiro. Isso envolve uma análise de fluxos de caixa futuros para determinar se os retornos esperados justificam os investimentos iniciais e os custos associados ao projeto.

De acordo com Zot e Castro (2015), a análise de investimentos pode ser considerada como um conjunto de critérios que as empresas utilizam na tomada de decisão ao realizar investimentos visando, principalmente, a reposição de ativos existentes (em especial instalações e equipamentos), o lançamento de novos produtos e a redução de custos. O processo consiste em decidir se o projeto vale a pena.

O Valor Presente Líquido representa “a diferença entre o valor presente das entradas de caixa e o valor presente do investimento inicial ou das saídas de caixa” (CAMARGOS, 2017). Para Gitman (1992), o VPL é um método de análise de investimentos que busca estimar o lucro futuro com o investimento para trazer o retorno ao valor presente considerando uma taxa mínima (TMA), para assim decidir se o investimento é ou não vantajoso.

Segundo Camargos (2017), a Taxa Interna de Retorno representa a “rentabilidade que o projeto de investimento apresenta para o capital que nele permanece investido, sendo também determinada rentabilidade própria do projeto”, pois depende apenas dos investimentos e do retorno auferido. A TIR também é a taxa que leva o valor presente das entradas de caixa a se igualarem ao investimento inicial e deve ser comparada à taxa mínima esperada de retorno com o projeto.

O *payback* simples é o tempo necessário para se recuperar o investimento inicial aplicado em um projeto, calculado a partir das entradas de caixa (ANDRADE, 2023). O *payback* ou “retorno do investimento” é comumente utilizado para calcular o prazo para

recuperação do valor aplicado para uma finalidade. Segundo ROSS (2015) *payback* é o tempo de retorno do investimento inicial até o momento no qual o ganho acumulado se iguala ao valor deste investimento.

No *payback* descontado, diferentemente do *payback* simples, considera-se o valor do capital investido ao longo do tempo, considerando uma taxa mínima de ajuste - como a inflação, por exemplo - e que pode ser definida de acordo com a taxa que o investidor considera atrativa (SOUZA, 2008). Para isto, é preciso inserir no cálculo o conceito do VPL e da TIR.

Em geral, ao avaliar a viabilidade de um investimento, é recomendável usar uma combinação dessas análises para uma compreensão mais completa do potencial retorno do projeto. Além disso, fatores qualitativos, como riscos associados ao projeto e considerações estratégicas, também devem ser levados em conta.

Esta proposta abrange uma abordagem para a melhoria operacional do sistema de distribuição de água em Miranda/MS. Através da análise, da simulação e da implementação de tecnologias modernas, busca-se alcançar uma redução significativa nos custos com energia elétrica, ao mesmo tempo em que se melhora a eficiência e a confiabilidade do abastecimento de água na cidade.

Todos os dos cálculos realizados nos resultados do trabalho são apresentados no Apêndice.

4.2 Estudos de caso

4.2.1 Características do sistema de abastecimento de água de Miranda/MS

O município de Miranda está situado no sul da região Centro-Oeste do Brasil, no Pantanal Sul-Mato-Grossense (Microrregião de Aquidauana), conforme a Figura 4. Possui uma área total 5.479 km² e é uma das cidades mais antigas do estado juntamente com seis municípios (Corumbá/MS, Ladário/MS, Aquidauana/MS, Anastácio/MS, Bodoquena/MS e Bonito/MS) e faz parte do Pantanal Sul (Prefeitura Municipal de Miranda, 2024).

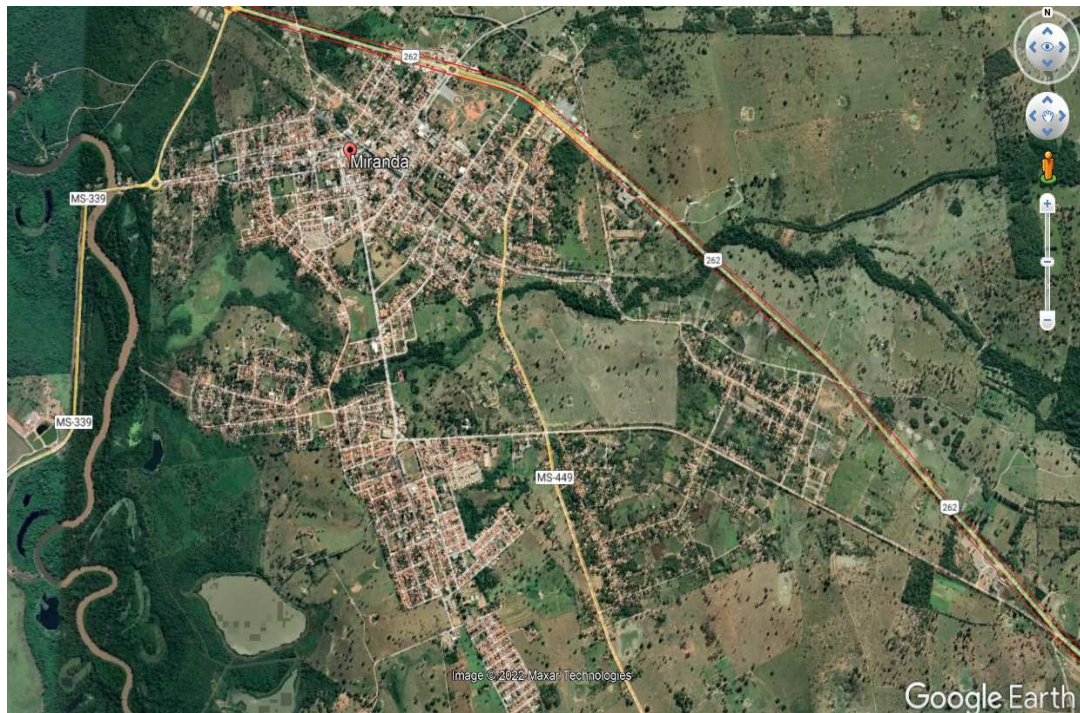
Figura 4. Mapa de localização de Miranda/MS.



Fonte: Wikipedia, 2024.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2022, Miranda possuía uma população de 25.536 habitantes, e densidade demográfica de 4,67 hab/km². A sede do município localiza-se a 20°14'26" de latitude sul e 56°22'42" de longitude oeste, estando 125 m acima do nível do mar, distante 202 km da Capital Estadual, Campo Grande (Figura 5).

Figura 5. Município de Miranda/MS.

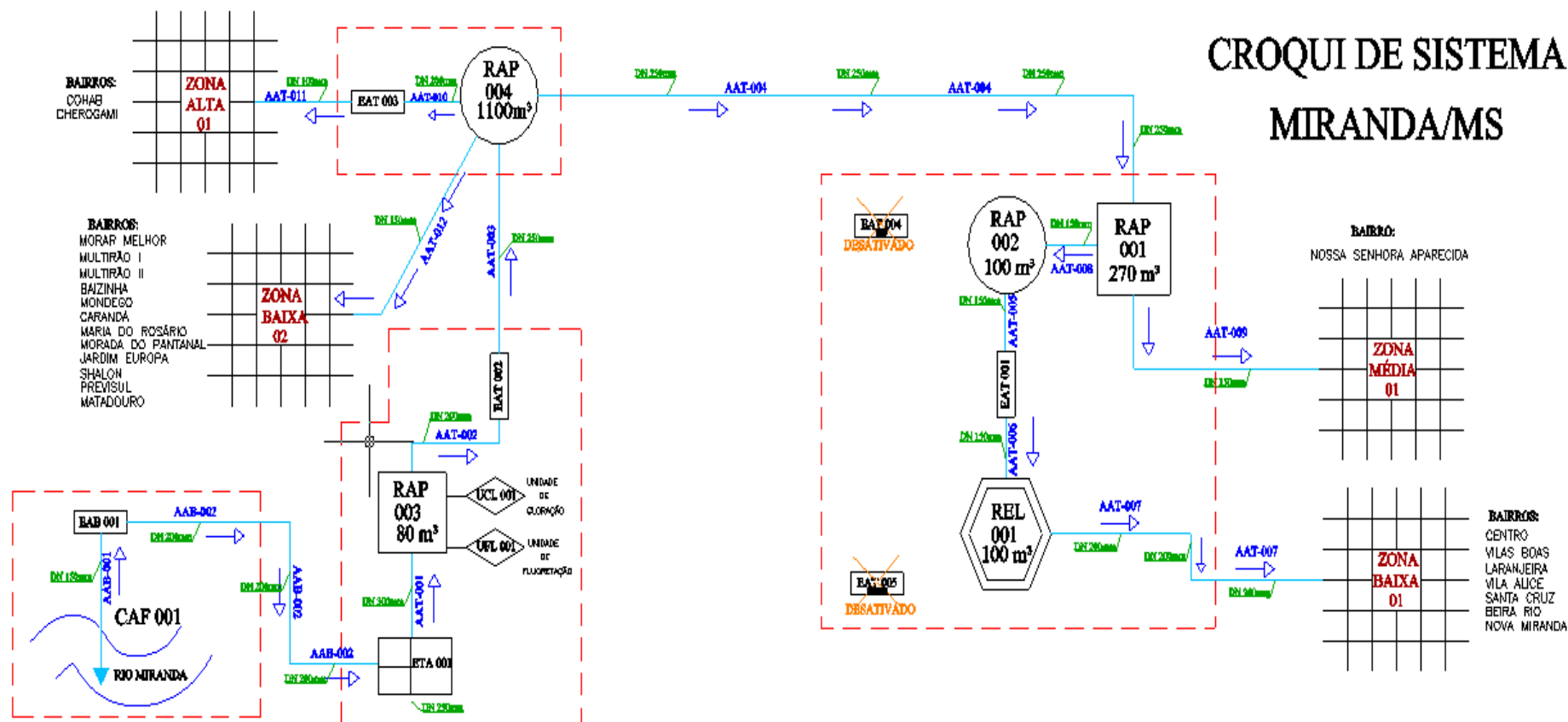


Fonte: Google Earth Pro (2023).

O sistema de abastecimento de água pesquisado como objeto de estudo deste trabalho foi o do município de Miranda, no estado de Mato Grosso do Sul. Esse sistema de abastecimento urbano é administrado pela regional de Aquidauana/MS da Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul Sociedade Anônima – SANESUL (Sociedade de Economia Mista de Capital Aberto). Segundo levantamento, a sua capacidade total de produção em janeiro de 2022 a dezembro de 2023 foi de 3.365.601 m³ de água e o consumo de energia de 543.665,12 KWh.

As unidades operacionais dos sistemas de Miranda/MS se dividem em captação, estação elevatória de água bruta, estação de tratamento de água, unidade de fluoretação e cloração, reservação, estação elevatória de água tratada, adutoras e redes de distribuição. Tais unidades são apresentadas na Figura 6 e serão detalhadas no decorrer do texto.

Figura 6. Croqui esquemático do sistema de abastecimento de água de Miranda/MS.



Fonte: Operado pela empresa SANESUL (2023).

Toda a água do sistema de abastecimento de água de Miranda/MS é produzida através de captação superficial, realizada no rio, por bombeamento. A água retirada segue pela adutora até a estação de tratamento e distribuída na área urbana.

O sistema de captação de Miranda/MS, localizado no Rio Miranda que fica na região Cerâmica Baiazinha, é composto por um flutuante com um conjunto motobomba CAF-001 (Figura 7).

Figura 7. Captação de água no rio Miranda.



Fonte: SANESUL – Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul.

4.2.2 Estação de tratamento de água

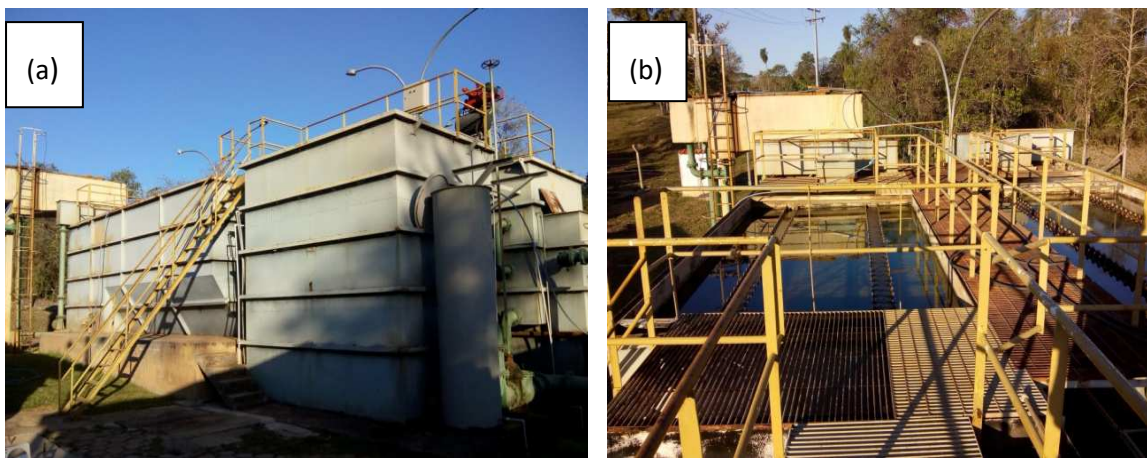
O tratamento é realizado por meio de cloro gasoso, a fim de remover micro-organismos patogênicos, e a fluoretação, visando a prevenção à cárie dentária. Sendo que este tratamento obedece aos padrões de potabilidade estabelecidos por Brasil (2011).

A água captada no Rio Miranda é tratada em uma ETA-001 (Estação de Tratamento de Água), que é do tipo metálico aberto, com câmara de floculação de múltiplo estágio, decantação lamelar, com filtração em dupla camada com lavagem recíproca. A capacidade nominal é de 360 m³/h. Observa-se que para o tratamento de água são aplicados solução de Sulfato de Alumínio líquido através de bomba dosadora na chegada da adutora da ETA. Após

o tratamento de água é armazenada no reservatório RAP-003, onde é feito a desinfecção através de Cloro Gasoso.

O sistema de tratamento de água de Miranda é composto de uma estação tratamento de água (ETA-001) e um reservatório apoiado (RAP-003) de concreto com capacidade de 80 m³ que se situa próxima à captação localizada no Rio Miranda (Figura 8 e Figura 9).

Figura 8 (a) e (b). Estação de tratamento de água (ETA-001).



Fonte: SANESUL – Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul.

Figura 9. Estação de tratamento de água (ETA-001) e reservatório (RAP-003).



Fonte: SANESUL – Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul.

4.2.3 Sistema de adução

O sistema de adução de Miranda/MS possui 02 Adutoras de Água Bruta (AAB) e 12 Adutoras de Água Tratada (AAT), que promovem o transporte da água para os

reservatórios do sistema e saída para redes de distribuição. A Tabela 3 e Tabela 4 apresentam a AAB e a AAT.

Tabela 3. Adutora de Água Bruta (AAB).

Adutora	Interligação	DN (mm)	Material	Extensão (m)
AAB-001	CAF → EAB-001	150	DEFOFO	10,00
AAB-002	EAB-001 → ETA-001	200 e 250	DEFOFO	480,00
Total (m)				490,00

Fonte: SANESUL (2023).

Tabela 4. Adutora de Água Tratada (AAT).

Adutora	Interligação	Diâmetro (mm)	Material	Extensão (m)
AAT-001	ETA-001 → RAP-003	300	FOFO	1,00
AAT-002	RAP-003 → EAT-002	200	FOFO	4,00
AAT-003	EAT-002 → RAP-004	250	FOFO	950,00
AAT-004	RAP-004 → RAP-001	250	FOFO	3470,00
AAT-005	RAP-002 → EAT-001	150	FOFO	2,00
AAT-006	EAT-001 → REL-001	150	FOFO	20,00
AAT-007	REL-001 → RDA (ZB 01)	200	FOFO	1360,00
AAT-008	RAP-001 → RAP-002	150	FOFO	5,00
AAT-009	RAP-002 → RDA (ZB 02)	150	FOFO	850,00
AAT-010	RAP-004 → EAT-003	200	FOFO	5,00
AAT-011	EAT-003 → RDA (ZA 01)	100	PVC	1550,00
AAT-012	RAP-004 → RDA (ZA 02)	150	FOFO	2610,00
Total (m)				10827,00

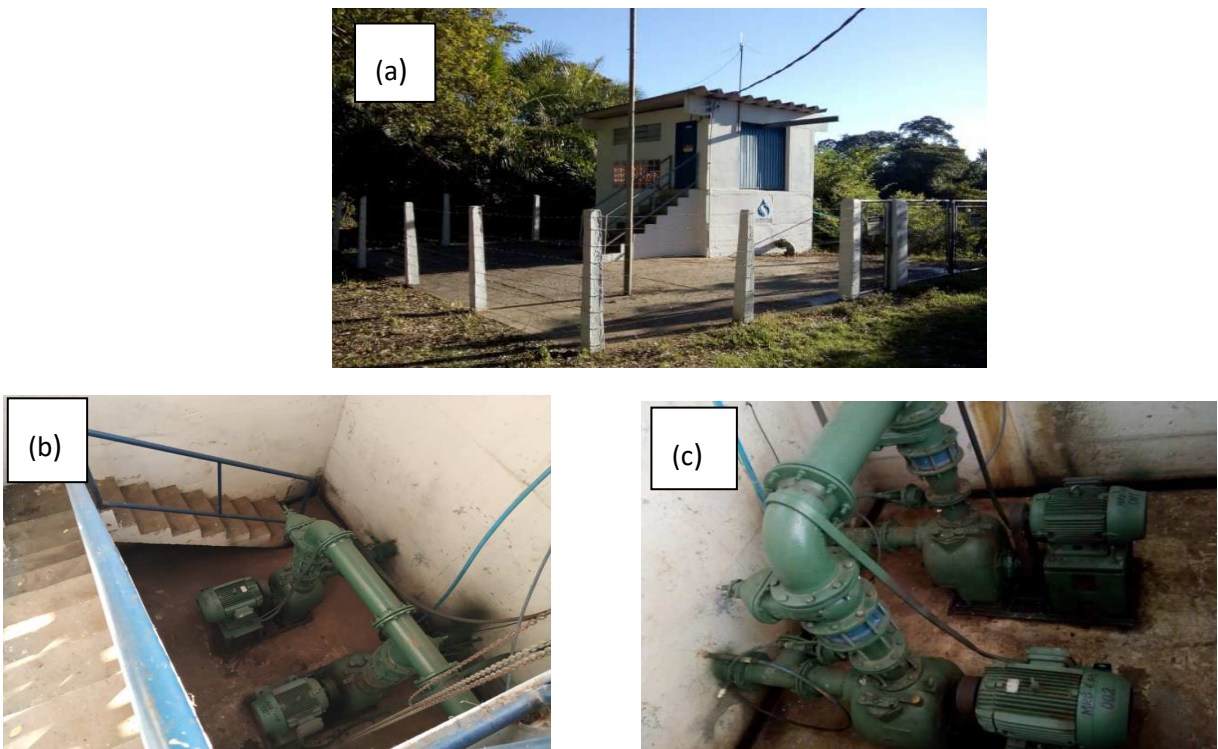
Fonte: SANESUL (2023).

4.2.4 Elevatória de Água Bruta e Elevatória de Água Tratada (bombas)

As elevatórias de água EAB-001, EAT-001 e EAT-002 operam com dois conjuntos motor bomba, sendo um ativo e outro de reserva. A EAT-003 é um tubo do tipo camisa ligado ao RAP-004 que distribui água tratada para Zona Alta. A Tabela 5 e Tabela 6 apresentam as EAB e EAT.

- **EAB-001:** Localizada na região Cerâmica Baiazinha, a EAB-001 tem o objetivo de aduzir água bruta do CAF-001 (captação superficial) para a ETA-001 (estação de tratamento). A EAB-001 foi concebida com conjunto motobomba de eixo horizontal, como pode ser observado nas Figura 10 (a), (b) e (c) a seguir.

Figura 10 (a), (b) e (c). Casa das bombas (EAB-001) e conjunto motobombas (um ativo e outro de reserva - EAB-001) na região Cerâmica Baiazinha.



Fonte: SANESUL – Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul.

Tabela 5. Elevatória de água bruta (EAB)

EAB	Conjunto moto-bomba						
	Nº Unidade	Marca/Modelo	Vazão Nominal (m³/h)	Altura Manométrica Nominal (m)	Potência (CV)	Vazão Serviço (m³/h)	Altura Manométrica Serviço (m)
EAB-001	2	GRESKO/T6	-	20	50	178	-
		IMBIL/E-6	-	17,5	50	210	-

Fonte: SANESUL (2023).

- **EAT-001:** Localizada na área do RAP-001, RAP-002 E REL-001, a EAT-001 tem o objetivo de aduzir água tratada do RAP-002 ao REL-001. A EAT-001 foi concebida com conjunto motobomba de eixo horizontal KSB, modelo KSB S.A/125-200 e KSB S.A/100-26, como pode ser observado na Figura 11 a seguir.

Figura 11. Conjunto motor bomba EAT-001 (um ativo e outro de reserva).



Fonte: SANESUL – Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul.

- **EAT-002:** Localizada na área do RAP-003 e ETA-001 (estação de tratamento), a EAT-002 tem o objetivo de aduzir água tratada do RAP-003 ao RAP-004. A EAT-002 foi concebida com um conjunto motobomba de eixo horizontal KSB, modelo KSB S.A MEG/100-315 e KSB S.A MEG/100-315, como pode ser observado na Figura 12 a seguir.

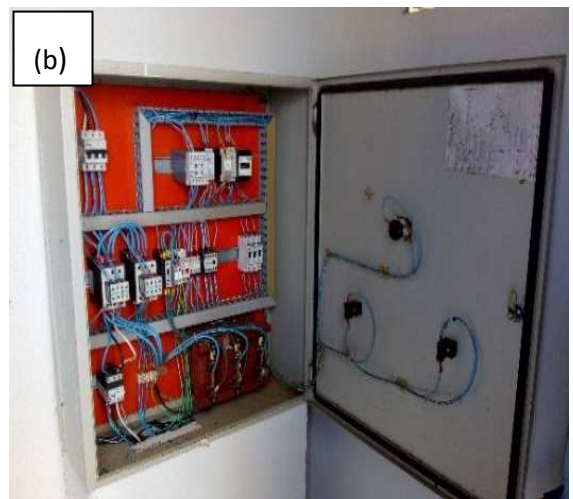
Figura 12. Conjunto motor bomba EAT-002 (um ativo e outro de reserva) e quadro de comando (ETA-002).



Fonte: SANESUL – Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul.

- **EAT-003:** Localizada na área do RAP-004, a EAT-003 tem o objetivo de aduzir água tratada do RAP-004 para rede de distribuição (Zona Alta). A EAT-003 é um tubo camisa vertical, modelo LEÃO S.A/R-28A-02, como pode ser observado na Figura 13(a) e (b) a seguir.

Figura 13 (a) e (b). Tubo camisa (EAT-003), abrigo e quadro de comando (EAT-003).



Fonte: SANESUL – Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul.

Tabela 6. Elevatória de Água Tratada (EAT).

EAT	Conjunto motobomba						
	Nº Unidade	Marca/Modelo	Vazão Nominal (m³/h)	Altura Manométrica Nominal (m)	Potência (CV)	Vazão Serviço (m³/h)	Altura Manométrica Serviço (m)
EAT-001	2	KSB S.A/125-200	200	-	25	157	20
		KSB S.A/100-26	149	-	20	157	19
EAT-002	2	KSB S.A/MEG100-315	210	-	50	180	41
		KSB S.A/MEG100-315	210	-	50	180	41
EAT-003 (tubo camisa)	1	LEÃO S.A/R-28A-02	24	27	4,5	36	23,5

Fonte: SANESUL (2023).

4.2.5 Reservação

O sistema de abastecimento de água de Miranda/MS possui 05 (cinco) reservatórios em operação, sendo 04 (quatro) apoiados e 01 (um) elevado. A capacidade total de reservação é de 1.650 m³. A Tabela 7 apresenta os reservatórios que compõem o sistema de Miranda/MS.

Tabela 7. Reservatórios.

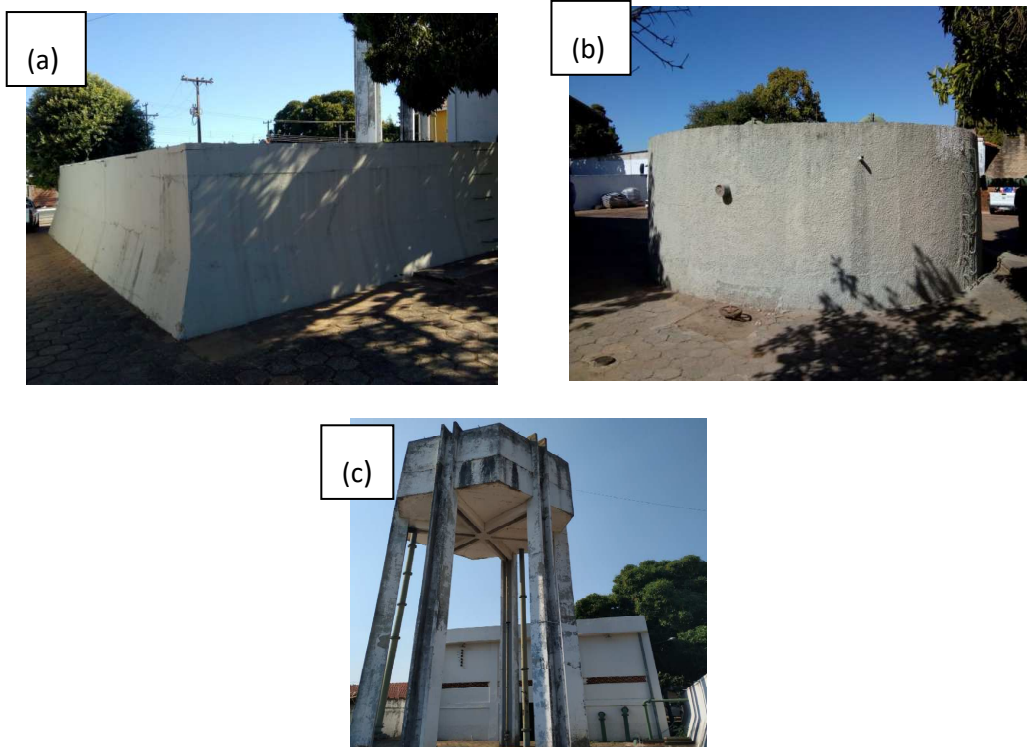
Reservatório	Tipo	Material	Formato	Comprimento x Largura (m)	Diâmetro (m)	Altura útil (m)	Altura do fuste (m)	Capacidade (m³)
RAP-001	Apoiado	Concreto	Quadrado	15,00 x 15,00	-	2,00	-	270
RAP-002	Apoiado	Concreto	Circular	-	8,00	2,00	-	100
REL-001	Elevado	Concreto	Hexágono	-	6,50	3,00	12,00	100
RAP-003	Apoiado	Concreto	Quadrado	5,40 x 5,40	-	3,40	-	80
RAP-004	Apoiado	Metálico	Cilindro	-	13,25	8,50	-	1100
TOTAL								1650

Fonte: SANESUL, 2023.

- **RAP-001:** Localizada na Rua Benjamin Constant, número 125, está na área da Unidade da SANESUL em Miranda/MS. O reservatório apoiado (RAP-001) foi construído em concreto armado com comprimento de 15,00 m, largura de 15,00 m, altura útil de 2,00 m e capacidade de 270,00 m³.
- **RAP-002:** Reservatório apoiado de concreto armado, localizado na Rua Benjamin Constant, nº 125, com diâmetro de 8,00 m, altura de 2,00 m e capacidade de 100,00 m³.
- **REL-001:** Reservatório elevado de concreto armado, localizado na Rua Benjamin Constant, nº 125, com diâmetro de 6,50 m, altura de 3,00 metros, altura do fuste de 12,00 m e capacidade de 100,00 m³.

Do reservatório RAP-001 (270,00 m³) a água vai para reservatório RAP-002 (100,00 m³); depois a água é recalçada (EAT-001) para o reservatório REL-001 (100,00 m³) de onde é distribuída para a Zona Baixa nos bairros Centro, Nossa Senhora Aparecida, Vilas Boas, Laranjeira, Vila Alice, Santa Cruz, Beira Rio e Nova Miranda, conforme na Figura 14 (a), (b) e (c).

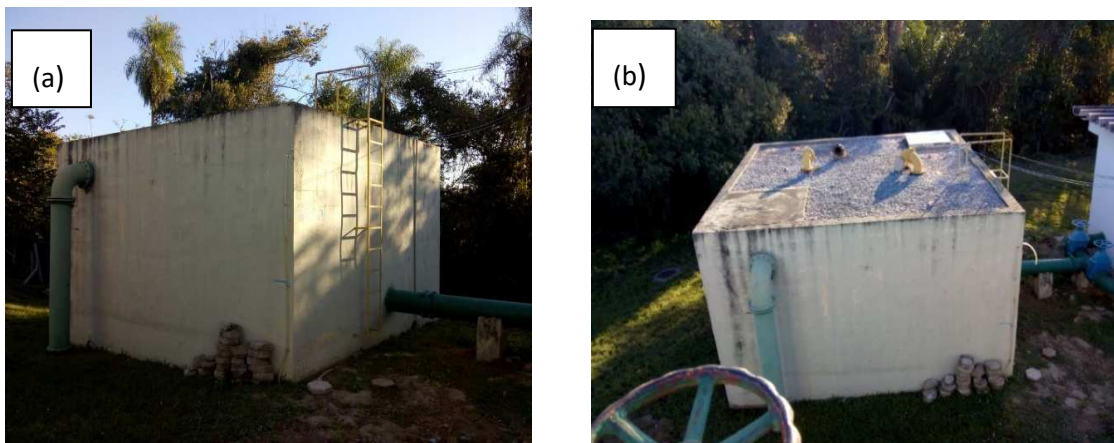
Figura 14 (a), (b) e (c). Reservatórios apoiados (RAP-001 e RAP-002) e reservatório elevado (REL-001).



- **RAP-003:** Localizada na região Cerâmica Baiazinha, o reservatório apoiado (RAP-003) em concreto armado com comprimento de 5,40 m, largura de 5,40 m, altura útil de 3,40 m e capacidade de 80,00 m³.

Do reservatório RAP-003 (Figura 15 (a) e (b)) a água tratada é bombeada para a EAT-002 até a parte alta da cidade para o reservatório metálico RAP-004, situado na região da COHAB e com capacidade de 1.100,00 m³, onde por gravidade aduz para o RAP-001 (270,00 m³) e RAP-002 (100,00 m³) de concreto, situado na sede da Unidade, sendo bombeada (EAT-001) para o REL-001 (100,00 m³) de concreto para distribuição na Zona Baixa.

Figura 15 (a) e (b) Reservatório apoiado de concreto armado (RAP-003).

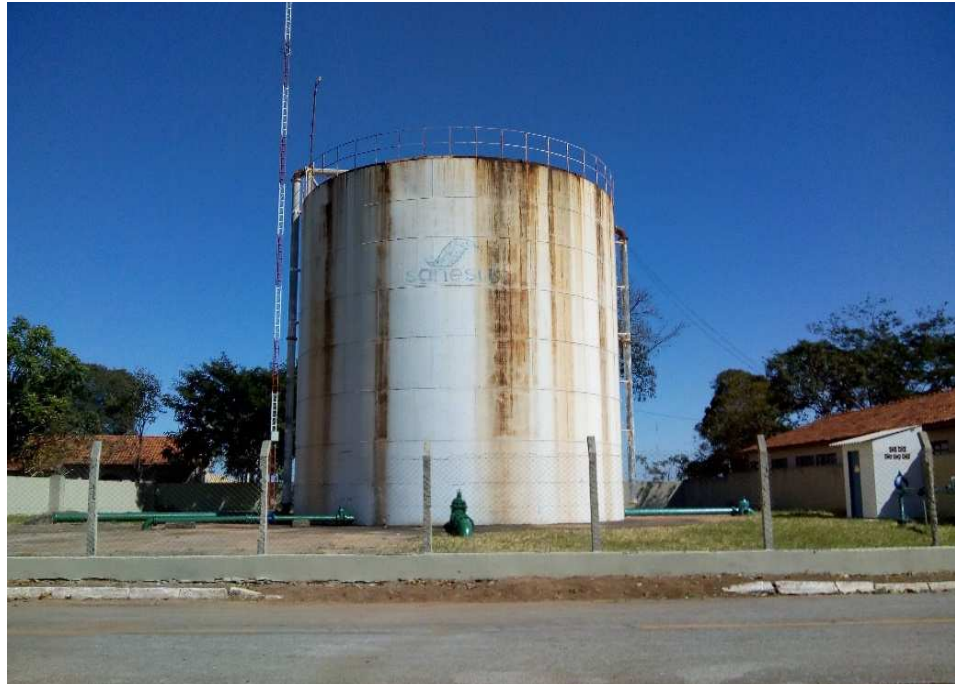


Fonte: SANESUL – Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul.

- **RAP-004:** Reservatório apoiado metálico localizado na Rua Vitória Régia, s/n, com diâmetro de 13,25 m, altura de 8,50 m e capacidade de 1.100,00 m³.

Há um tubo camisa (EAT-003) ligado ao RAP-004 que distribui água tratada para parte alta do bairro COHAB e CHEROGAMI. E distribui a saída por gravidade para Zona Baixa dos bairros Multirão I, Multirão II, Baiazinha, Mondego, Morar Melhor, Carandá, Maria do Rosário, Morada do Pantanal, Jardim Europa, Shalon, Previsul e Matadouro (Figura 16).

Figura 16. Reservatório metálico apoiado (RAP-004), abrigo e tubo camisa (EAT-003).



Fonte: SANESUL – Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul.

4.2.6 Rede de distribuição

De acordo com o cadastro de rede, o sistema de abastecimento de água de Miranda/MS possui aproximadamente 83 km de rede distribuição, com diversos diâmetros, como pode ser verificado na Tabela 8.

Tabela 8. Redes de distribuição.

Diâmetro Nominal (mm)	Material x Quantidade (m)		
	PVC	DEFOFO	Cimento amianto
50	50.628,00	0,00	8265,00
75	3.822,94	0,00	0,00
100	2.815,78	0,00	3088,00
125	432,00	0,00	0,00
150	0,00	5132,52	0,00
200	0,00	4316,86	0,00
250	0,00	4287,73	0,00
TOTAL (m)	57.698,72	13.737,10	11.353,00

Fonte: SANESUL, 2023.

4.2.7 Setorização

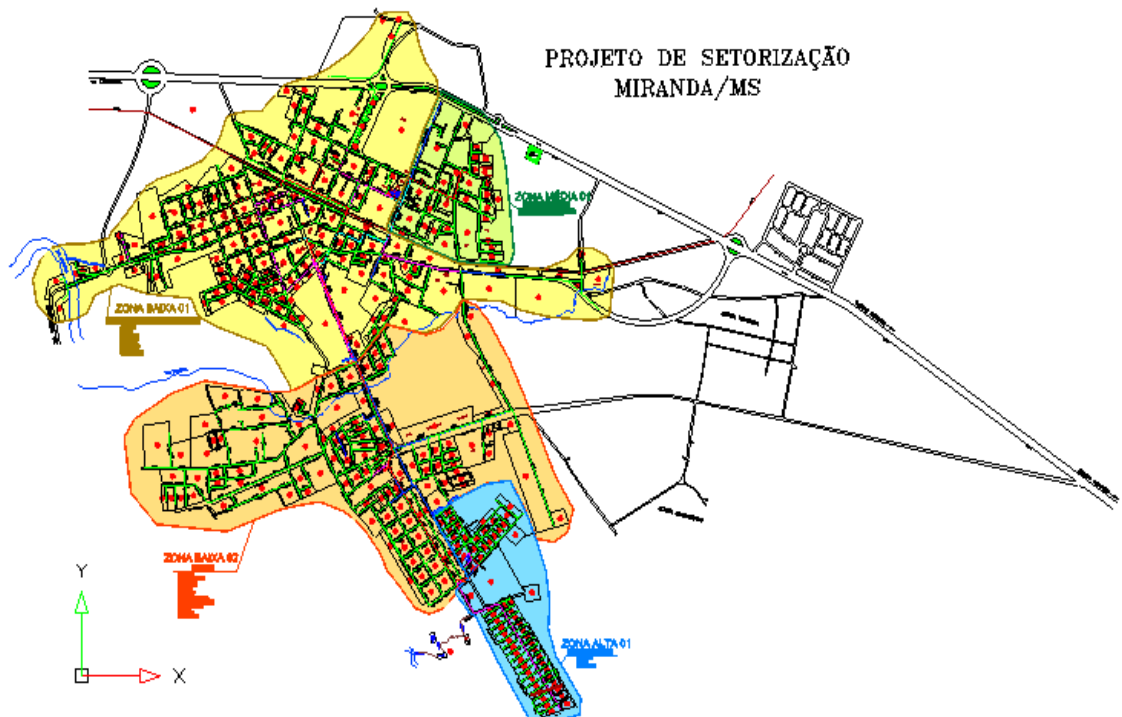
O sistema existente no município de Miranda/MS se divide operacionalmente em quatro setores de abastecimento isolados, nomeados por Zona Baixa 01 (amarelo), Zona Média 01 (verde), Zona Alta 01 (azul) e Zona Alta 02 (laranja). A Tabela 9 e a Figura 17 representam a divisão dos setores do sistema de abastecimento do município.

Tabela 9. Nomes dos bairros da cidade de Miranda/MS (divisão dos setores do sistema).

Setor	Bairros
Zona Baixa 01	Centro, Vilas Boas, Laranjeira, Vila Alice, Santa Cruz, Beira Rio, Nova Miranda e Brejinho
Zona Média 01	Nossa Senhora Aparecida
Zona Alta 01	Cohab e Cherogami
Zona Alta 02	Morar Melhor, Multirão I, Multirão II, Baizinha, Mondego, Carandá, Maria do Rosário, Morada do Pantanal, Jardim Europa, Shalon, Previsul e Matadouro

Fonte: Operado pela empresa SANESUL (2023).

Figura 17. Setorização da cidade de Miranda/MS, obtido através do cadastro de rede (*software Cadian*).



Fonte: Operado pela empresa SANESUL (2023).

4.3 Tópicos de eficiência energética em sistema de abastecimento de água

A eficiência energética em sistema de abastecimento de água mostra-se como uma grande oportunidade para redução de custos operacionais nas empresas do setor de saneamento. No Brasil, estas empresas eram estatais e ainda conviviam com os vícios de uma época onde as empresas de distribuição de energia elétrica, também estatais, e não havia grande controle nos gastos com o insumo energia (NETO, 2008).

As empresas de saneamento começaram a ser cobradas por utilizar a energia de forma ineficiente (consumo excedente de energia reativa) ou pelo não cumprimento dos contratos de fornecimento de energia elétrica (ultrapassagem da demanda elétrica contratada). Os primeiros passos rumo à eficiência energética nas empresas deste seguimento passaram por ações simples, sejam elas administrativas ou operacionais (NETO, 2008).

A eficiência energética nos sistemas de abastecimento de água requer melhor controle dos processos, que podem ser entendidos como conjunto de condições, ou causas que, agindo juntas, geram um dado resultado (THORTON, 2012). Segundo Fracasso (2014) e Schaltegger (2015), devido à quantidade de energia elétrica consumida pelas estações de bombeamento de água, os trabalhos de otimização visam estratégias do acionamento dos conjuntos motobombas ao longo do dia.

As perdas de energia elétrica das companhias de saneamento ocorrem nas estações elevatórias e originam-se, principalmente, por causa da baixa eficiência dos equipamentos eletromecânicos, por procedimentos operacionais inadequados e por falha na concepção dos projetos (CHERCHI et al., 2015 e PILLOT, 2016).

De acordo com Condurú e Pereira (2010), a eficiência energética está relacionada com as características de cada sistema de abastecimento de água, precisando de controle operacional, macromedição dos volumes, setorização da rede de distribuição, micromedição do volume consumido nas instalações prediais, qualidade e compatibilidade dos cadastros técnico e comercial, entre outras ações.

Reis Júnior (2012), observa que a eficiência energética em sistemas de bombeamento de água é uma boa alternativa para reduzir as despesas e melhorar os serviços de distribuição, bem como para atender às necessidades de água da crescente população.

A operação ótima dos SAA's é definida por um conjunto de regras, ou uma programação, que indica quando cada bomba do sistema deve ser acionada ou desligada em operação determinado, de modo a atender às restrições operacionais, de quantidade e de qualidade, com o menor custo possível (JUNG, 2014 e BABAEI, 2015).

As principais medidas operacionais que visam à diminuição do custo energético dos sistemas de abastecimento de água englobam a alteração do sistema de bombeamento de reservação, dos procedimentos operacionais das estações de tratamento de água e a utilização de inversores de frequência (KROCOVÁ, 2016 e MALA-JETMAROVA et al., 2017).

As principais etapas para implementar a eficiência energética nos sistemas de abastecimento de água podem ser estabelecidas por meio de:

- Melhorias nos projetos do sistema e das estações de bombeamento;
- Redução de vazamentos por meio da modulação de pressão;
- Instalação de unidades de velocidade variável (bomba);
- Operações eficientes de bombas;
- Substituição de um equipamento ineficiente;
- Escolha de uma tarifa de energia adequada.

A determinação da eficiência energética dos sistemas elevatórios deve passar por uma avaliação de dados reais de desempenho do sistema. Baseando-se na correta seleção de critérios que permitam distinguir de forma simples e certa quais os sistemas mais problemáticos e com maior potencial de redução de consumo de energia (VIVAS et al., 2014).

Segundo Monteiro et al. (2005), pode se obter um valor de eficiência energética do sistema ao relacionar a somatória das energias necessárias para abastecer cada consumidor de um sistema com a energia efetivamente gasta, como visto na Equação 10. Entretanto, este é um valor de difícil obtenção, devido à quantidade de consumidores e à necessidade de cadastrar a elevação de cada um deles. A Equação 1 representa a forma de se obter a eficiência energética do sistema.

Equação 1. Eficiência energética do sistema.

$$\text{Eficiência do sistema} = \frac{\gamma \cdot \sum(V_i \cdot H_i)}{E_t}$$

Onde:

γ = Peso específico da água transportada;

V_i = Volume de água abastecido ao consumidor i ;

H_i = Elevação ou altura onde é entregue a água do consumidor i ;

E_t = Energia total consumida pelo sistema de abastecimento para atender o conjunto de consumidores;

Tendo-se como objetivo a melhoria na eficiência energética e, por conseguinte a redução dos custos com as despesas de energia elétrica e manutenção dos equipamentos na operação dos sistemas de abastecimento de água. As estações de bombeamento de água são componentes fundamentais desses sistemas, em especial, ao tratar-se da eficiência energética. Tipicamente, uma estação de bombeamento consiste de uma quantidade de bombas de diferentes capacidades, as quais são utilizadas para bombear água para um ou mais reservatórios; essas bombas trabalham em combinação com outras para atender a demanda de consumo (MONACHESI, 2005).

4.3.1 Redução de custos com energia elétrica em sistema de abastecimento de água

A implantação de medidas que possam reduzir os custos com energia elétrica é de suma importância para a viabilidade econômica das empresas que operam os sistemas de água e esgoto, pois o custo de energia elétrica tem sido cada vez mais elevado, principalmente devido à crise no setor energético (ELETROBRÁS, 2005).

Segundo Tsutiya (2005), os motores elétricos utilizados em estações elevatórias de água são responsáveis por cerca de 90% das despesas com energia elétrica. O consumo de energia elétrica em sistema de abastecimento de água é de cerca de 0,6 kWh por m³ de água produzida.

A redução no índice de perdas de água e o uso racional da água, terão influência significativa no custo de energia elétrica, pois com a diminuição do volume de água a ser recalçada, haverá uma diminuição no consumo de energia elétrica. Identificando os pontos

de uso excessivo de energia, após um diagnóstico do sistema em operação, consegue-se a redução do custo de energia elétrica em um SAA (TSUTIYA, 2005).

Para a eficiência energética no sistema operacional, é importante a realização de mudanças nos procedimentos operacionais dos SAA's, como ajuste dos equipamentos; controle operacional (alteração de bombeamento e reservação, utilização de inversor de frequência, alterações operacionais da ETA); automação do SAA; capacidade de reservação de água no HP e HFP do sistema elétrico.

Dado o exposto, determina-se que para reduzir o custo de energia elétrica em um sistema de abastecimento de água, há necessidade de se programar várias ações. O início é um diagnóstico do sistema existente, principalmente com a identificação dos pontos de uso excessivo de energia.

Para Tsutiya (2005), as principais ações para redução do custo de energia elétrica em sistemas abastecimento de água, dividida por fases:

1. Ações administrativas para a redução de custo de energia elétrica (1ª fase):
 - a) Regularização da demanda contratada;
 - b) Correção da classe de faturamento;
 - c) Alteração da estrutura tarifária;
 - d) Desativação das instalações sem utilização;
 - e) Conferência de leitura da conta de energia elétrica;
 - f) Entendimentos com as companhias energéticas para a redução de tarifas.

2. Ações operacionais para a redução de custo de energia elétrica (2ª fase):
 - a) Ajuste de equipamentos;
 - b) Diminuição da potência dos equipamentos;
 - c) Controle operacional;
 - d) Automação do sistema de abastecimento de água;
 - e) Alternativa para geração de energia elétrica.

4.3.2 Indicadores de eficiência energética em sistema de abastecimento de água

Os Indicadores de Desempenho Energético (IDE) são fundamentais para uma gestão eficiente dos sistemas de bombeamento. Mesmo que não ocorram expansões do sistema ou substituição de componentes, as condições operativas tenderão a sofrer alterações com a passagem do tempo. Isto se deve a diversos fatores, tais como, entre outros (SNSA, 2018):

- Perda de rendimento de motores por operação indevida (sobrecarga, excesso de partidas acarretando superaquecimento etc.);

- Queda de rendimento das bombas por operação fora do ponto nominal devido a variação da altura manométrica;

- Substituição provisória de conjuntos ou equipamentos em manutenção por outros de características diversas, recaindo, eventualmente, em um ou ambos os casos acima citados;

- Redução no diâmetro útil das tubulações por incrustações com aumento da perda de carga, exigindo maior potência dos conjuntos motobomba;

- Ocorrência de vazamentos não detectados, exigindo acréscimo na produção para fornecimento dos mesmos volumes ao consumo, com aumento da energia elétrica consumida.

De acordo com SNSA (2018), os indicadores de eficiência energética são obtidos a partir de valores medidos das grandezas elétricas (potência, tensão, corrente e fator de potência) e hidráulicas (vazão e altura manométrica).

- Consumo Específico de Energia – CE: pode ser obtido de forma global para todo um sistema; ou para um subsistema; para várias ou uma só elevatória; para associação de conjuntos motobomba em série ou em paralelo; ou para um único conjunto. Entretanto, por si só não é indicativo do desempenho do conjunto, uma vez que reflete a eficiência do conjunto mais a eficiência do sistema hidráulico a jusante da bomba. Ele permite comparar o desempenho de uma mesma instalação ao longo do tempo, mas não serve para comparar o desempenho de estações de bombeamento diferentes, visto que estas recalcam água a alturas manométricas diferentes, consumindo, portanto, diferentes quantidades de energia elétrica, ainda que os rendimentos dos equipamentos possam ser iguais.

O CE é o indicador de eficiência energética de uso mais difundido e o de maior utilidade, assim expresso:

$$CE = \text{Consumo de energia} / \text{Volume bombeado (kWh/m}^3\text{)}$$

- Consumo Específico de Energia Elétrica Normalizado – CEN: no intuito de contornar esta dificuldade e estabelecer um parâmetro para comparação do desempenho de conjuntos diferentes, a *International Water Association* (IWA, 2000) propôs o artifício de reduzir as alturas manométricas de diferentes instalações à altura única de 100m, criando assim o Consumo Específico de Energia Elétrica Normalizado – CEN, que serve como uma medida indireta do rendimento médio dos conjuntos motobomba:

$$\text{CEN} = (\text{Consumo de energia} / \text{Volume bombeado}) \times (100/H_{\text{man}})$$

Segundo Silva et al. (2019), para avaliar o desempenho energético dos equipamentos eletromecânicos o indicador mais adequado é o da IWA Ph5 ou CEN – Consumo de Energia normalizado expresso em [kWh/(m³x100m)] e facilmente convertível em rendimento do conjunto motobomba η (%). Este indicador corresponde ao inverso da eficiência média de bombeamento do grupo motobomba. O cálculo do indicador CEN envolve três variáveis de entrada: o volume total de água bombeado no período de referência; a altura manométrica média a ser superada pelo sistema e o total de energia elétrica consumida pelos conjuntos motobomba também no período de referência, conforme poder ser verificado na Equação 2.

Equação 2. Consumo Específico de Energia Elétrica Normalizado.

$$\text{CEN} = \frac{E}{F_{\text{unif}}}$$

Onde:

E = é o total de energia elétrica consumida para bombeamento (kWh);

F_{unif} = é o fator de uniformização (m³x100m).

O fator de uniformização é utilizado para que seja feita a normalização pela altura geométrica, conforme Equação 3.

Equação 3. Fator de uniformização.

$$F_{\text{unif}} = \frac{V \times H}{100}$$

Onde:

V = é o volume total de água elevado no período de referência em (m³);

H = é a altura manométrica média verificada no período de referência (mca).

Resulta-se na Equação 4, abaixo:

Equação 4. Cálculo do indicador CEN.

$$CEN = \frac{E \times 100}{V \times H}$$

O cálculo do indicador CEN resulta em um valor em [kWh/(m³x100m)], que representa o rendimento do sistema de bombeamento. A magnitude deste resultado é inversamente proporcional ao rendimento expresso em (%), ou seja, sistemas pouco eficientes apresentam valores elevados de CEN, enquanto sistemas mais eficientes apresentam valores de CEN mais baixos.

O mínimo valor teórico é 0,2725, ($\eta = 100\%$) que corresponde a um sistema capaz de converter toda a energia elétrica fornecida em pressão hidráulica na tubulação de saída do conjunto motobomba. Tal sistema é apenas teórico, visto que perdas por vibração, aquecimento, escorregamento etc., no motor e na bomba sempre ocorrerão, mesmo que possam ser reduzidas a um mínimo.

O indicador CEN pode ser convertido em rendimento percentual, conforme Equação 5:

Equação 5. Cálculo do indicador CEN em rendimento percentual.

$$CEN = \left(\frac{kWh}{m^3 \times 100m} \right) = \frac{E}{F_{unif}} = \frac{P \times t (h)}{V \times H / 100} = 3,6 \times 10^5 \times \frac{P}{Q (m^3/s) \times H} = \frac{0,2725}{\eta} (\%)$$

O consumo de energia normalizado das instalações elevatórias corresponde ao rendimento eletromecânico dos conjuntos motobomba. Este indicador consiste na quantidade média de energia consumida por m³ de água elevada a uma altura manométrica de 100m. Sobre o indicador em questão, são feitas as seguintes considerações (SILVA et al., 2019):

- Um valor bom para este indicador é entre 0,27 e 0,40 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias entre 68% e 100%).

- Um valor mediano encontra-se entre 0,40 e 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias entre 50% e 68%).
- Valores insatisfatórios são superiores a 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias inferiores a 50 %).

4.3.3 Projetos típicos de eficiência energética em saneamento: reabilitação ou substituição de motobombas

Os projetos típicos para aumento do rendimento dos conjuntos motobomba são: troca de motores, troca de bombas e troca dos conjuntos. A substituição ou renovação do conjunto motobomba, visando condições de operação de maior rendimento, constitui uma medida de eficiência energética (ANEEL, 2019).

Com o passar dos anos, os conjuntos motobomba sofrem um desgaste natural que conduz a uma queda gradual do rendimento. Assim, eles podem estar operando em condições de ineficiência, sem que haja conhecimento por parte do prestador de serviços responsável por sua operação (ANEEL, 2019).

Segundo ANEEL (2019), a sua reabilitação ou substituição, em muitos casos, evita custos que se justificam por autofinanciar as medidas em poucos meses. Frequentemente, nos sistemas de abastecimento de água, há motobombas que operam por mais 20 anos, sendo que a vida útil habitual de equipamentos eletromecânicos varia entre 5 e 15 anos, dependendo contexto.

- **SEÇÃO 01: Determinação da situação atual**

Os cálculos mais completos poderão ser apresentados (sistema atual), desde que contemplem os itens abaixo (Tabela 10). Os dados específicos deste projeto de saneamento estão assinalados com asterisco e são sugestões no âmbito (ANEEL, 2019).

Tabela 10. Sistema atual – Reabilitação ou substituição de motobombas.

SISTEMA ATUAL						
Descrição / unidade		Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL
1a *	Vazão média (m ³ /s)	Q_{ai}				
1b *	Vazão média (m ³ /h)	Q_{ai}				
2 *	Altura manométrica média (mca)	H_{ai}				
3	Potência nominal do motor (cv)	p_{ai}				
4	Carregamento	γ_{ai}				
5a	Rendimento nominal (%)	η_{nai}				
5b	Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{ai}				
6	Quantidade	q_{ai}				
7	Potência instalada (kW)	$P_{ai} = (p_{ai} * 0,736 * q_{ai}) / (\eta_{nai}/100)$				
8	Potência média utilizada (kW)	$P_{uai} = P_{ai} * \gamma_{ai} * (\eta_{nai}/\eta_{ai})$				
9	Funcionamento (h/ano)	h_{ai}				
10	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{ai}				
11a	Consumo de energia produção (KWh/ano) ou Consumo de energia distribuição (KWh/ano)	$E_{ai} = (P_{uai} * h_{ai})$				
11b	Energia consumida (MWh/ano)	$E_{ai} = (P_{uai} * h_{ai}) / 1000$				$E_a = \sum E_{ai}$
12	Demanda média na ponta (kW)	$D_{ai} = P_{uai} * FCP_{ai}$				$D_a = \sum D_{ai}$

* O sub-índice ai está relacionado ao sistema atual, onde i refere ao número do sistema.

Em seguida se apresentam com a mesma numeração notas para o cálculo de cada item.

Fonte: ANEEL, 2019.

✓ Situação atual – notas de preenchimento e cálculo

1a ou 1b) Vazão média (m³/s ou m³/h): deve ser indicada a vazão média na qual operam as bombas. Deve ser dada atenção ao regime de produção (dia festivo / noite / dia) no momento da medição e o valor médio anual considerado para a determinação das economias, sendo este último a utilizar.

2) Altura manométrica média (mca): pode ser obtida por meio da seguinte Equação 6, cujas variáveis de entrada devem ser obtidas por medição ou estimativa na fase de ex-ante (proposta de projeto):

Equação 6. Altura manométrica média (sistema atual).

$$H = \left(P_{rec} + \frac{V_{rec}^2}{2 * g} \right) - \left(P_{suc} + \frac{V_{suc}^2}{2 * g} \right) + \Delta Hg$$

Onde:

H = altura manométrica (mca);

P_{rec} = pressão de recalque da bomba (mca);

P_{suc} = pressão de sucção da bomba (mca);

V_{rec} = velocidade na seção de recalque no ponto P_{rec} (m/s);

V_{suc} = velocidade na seção de sucção no ponto P_{rec} (m/s);

G = aceleração da gravidade (m/s^2);

ΔH_g = desnível geométrico entre os pontos P_{rec} e P_{re} .

3) Potência nominal do motor (cv): para cada sistema (motor ou conjunto de motores) preencher a potência nominal do motor ou a soma das potências nominais dos motores agrupados. A unidade é o cv (cavalo motor). Os motores devem ser agrupados com as mesmas características de instalação e funcionamento – potência, rotação, carregamento, horas de funcionamento. Usar tipos diferentes para trocas diferentes.

4) Carregamento: corresponde ao carregamento médio do motor ou conjunto de motores. O carregamento pode ser obtido por medição ou cálculo matemático, cujo valor é dado por (Equação 7):

Equação 7. Carregamento médio e potência requerida (sistema atual).

$$\text{Carregamento} = \frac{\text{Potência Requerida (kW)}}{\text{Potência Nominal (kW)}}$$

$$\text{Potência Requerida} = \frac{9,81 * Q_{ai} * H_{ai}}{\eta_{ai}} \text{ (kW)}$$

Onde:

Q_{ai} = vazão média requerida (m^3/s);

H_{ai} = altura manométrica (mca);

η_{ai} = rendimento conjunto motobomba.

O rendimento da bomba é um importante componente para a eficiência energética. Quanto maior o rendimento do conjunto motobomba, menor será a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia.

5a) Rendimento nominal (%): é o rendimento do motor informado no catálogo ou na placa do próprio equipamento.

5b) Rendimento no ponto de carregamento (%): é o rendimento do motor quando em operação no ponto de carregamento identificado no item 4. O valor do rendimento é obtido diretamente na curva rendimento x carregamento cada pelo fabricante, ou por cálculo por sistemas computacionais.

6) Quantidade: é a quantidade de motores do sistema considerado. Somente podem ser agrupados em um mesmo sistema motores com as mesmas características de instalação e funcionamento – potência, rotação, carregamento, horas de funcionamento.

7) Potência instalada (kW): é a potência elétrica nominal do motor (convertidos cv em kW) da potência mecânica nominal entregue pelo eixo do motor, considerando-se ainda o próprio rendimento. A rigor, dever-se-ia utilizar o rendimento nominal (Equação 8).

Equação 8. Potência instalada do motor (sistema atual).

$$P_{ai} = \frac{P_{ai} * 0,736 * q_{ai}}{\eta_{nai}}$$

Onde:

P_{ai} = potência do motor no sistema i atual;

q_{ai} = número de motores no sistema i atual;

η_{nai} = rendimento nominal do motor no sistema i atual.

8) Potência média utilizada (kW): é a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia considerando o carregamento médio do motor, que por sua vez foi calculado a partir da vazão média requerida (Equação 9).

Equação 9. Potência média utilizada (sistema atual).

$$P_{uai} = P_{ai} * \gamma_{ai} * \frac{\eta_{nai}}{\eta_{ai}}$$

Onde:

P_{ai} = potência do motor no sistema i atual;

γ_{ai} = carregamento do motor no sistema i atual;

η_{nai} = rendimento nominal do motor no sistema i atual;

η_{ai} = rendimento do motor no sistema i atual.

Deve ser dada atenção ao regime de produção no momento da medição e o valor médio considerado para a determinação das economias, sendo este último a utilizar.

9) Funcionamento (h/ano): tempo médio de funcionamento em horas durante um ano.

10) FCP (fator de coincidência na ponta): varia entre 0 e 1. É o fator que considera a relação (a/b) sendo (a) as horas de utilização do equipamento ou sistema no qual se efetivará a eficiência energética em um ano e (b) o número máximo de horas no período de ponta em um ano (conforme Equação 10).

Equação 10. Fator de coincidência na ponta (sistema atual).

$$FCP = \frac{nm * nd * nup}{792}$$

Onde:

nm = número de meses de utilização dos sistemas no horário de ponta;

nd = número de dias por mês de utilização em horário de ponta;

nup = número de horas de utilização em horário de ponta;

792 = número total de horas de ponta em 1 ano (atenção que cada edital tem a informação do tempo a ser considerado para o cálculo que varia entre as distribuidoras de energia. Algumas consideram os feriados, outras não).

11a ou 11b) Consumo de energia produção/distribuição (kWh/ano) ou Energia consumida (MWh/ano): é a energia total consumida em um ano considerando a potência média utilizada pelo sistema e o tempo de funcionamento informados nos itens 8 e 9 (Equação 11).

Equação 11. Consumo de energia ou energia consumida (sistema atual).

$$Eai = \frac{Puai * hai}{1000}$$

Onde:

Puai = potência média utilizada no sistema i atual;

hai = horas de funcionamento no sistema i atual.

12) Demanda média na ponta (kW): é a demanda média requerida pelo sistema considerando a potência média utilizada e o fator de coincidência na ponta informados nos itens 8 e 10 (Equação 12).

Equação 12. Demanda média na ponta (sistema atual).

$$Dai = Puai * FCPai$$

Onde:

P_{uai} = potência média utilizada no sistema i atual;

FCP_{ai} = fator de coincidência na ponta no sistema i atual.

▪ **SEÇÃO 02: Determinação do sistema proposto**

Os cálculos mais completos poderão ser apresentados (sistema proposto), desde que contemplem os itens abaixo (Tabela 11). Os dados específicos deste projeto de saneamento estão assinalados com asterisco e são sugestões no âmbito (ANEEL, 2019).

Tabela 11. Sistema proposto – Reabilitação ou substituição de motobombas

SISTEMA PROPOSTO							
Descrição / unidade			Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL
1a *	Vazão média (m ³ /s)	Q_{pi}					
1b *	Vazão média (m ³ /h)	Q_{pi}					
2 *	Altura manométrica média (mca)	H_{pi}					
3	Potência nominal do motor (cv)	p_{pi}					
4	Carregamento	γ_{pi}					
5a	Rendimento nominal (%)	η_{mpi}					
5b	Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{pi}					
6	Quantidade	q_{pi}					
7	Potência instalada (kW)	$P_{pi} = (p_{pi} * 0,736 * q_{pi}) / \eta_{mpi}$					
8	Potência média utilizada (kW)	$P_{upi} = P_{pi} * \gamma_{pi} * (\eta_{mpi} / \eta_{pi})$					
9	Funcionamento (h/ano)	h_{pi}					
10	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{pi}					
11a	Consumo de energia produção (KWh/ano) ou Consumo de energia distribuição	$E_{pi} = (P_{upi} * h_{pi})$					
11b	Energia consumida (MWh/ano)	$E_{pi} = (P_{upi} * h_{pi}) / 1000$					$E_p = \sum E_{pi}$
12	Demanda média na ponta (kW)	$D_{pi} = P_{upi} * FCP_{pi}$					$D_p = \sum D_{pi}$

* O sub-índice pi está relacionado ao sistema proposto, onde i refere ao número do sistema.

Fonte: ANEEL, 2019.

✓ **Situação proposta – notas de preenchimento e cálculo**

A determinação das economias está diretamente relacionada aos novos rendimentos e potências dos motores envolvidos na ação de eficiência energética. Para uma mesma necessidade de energia para o bombeamento, sistemas com melhores rendimentos requerem uma quantidade menor de potência e consumo de energia.

A partir da potência requerida pelo sistema de bombeamento, que depende da altura manométrica e da vazão média requerida, é possível determinar os equipamentos (motores e/ou bombas) mais adequados para as condições operacionais. Então, o objetivo é encontrar os equipamentos mais eficientes, cujas curvas de operação sejam as mais apropriadas.

Os agrupamentos de motores feitos na Tabela 10 (situação anterior) devem ser exatamente os mesmos na situação proposta, mesmo que em alguns sistemas possa haver aumento do consumo de energia ou da demanda. No entanto, espera-se que a soma de todos os acréscimos e reduções em todos os sistemas resulte em economia de energia e/ou redução de consumo e de demanda na ponta.

Uma vez definidos os motores e as bombas, os dados da tabela “situação proposta” podem ser preenchidos:

1a ou 1b) Vazão média (m³/s ou m³/h): deve ser indicada a vazão média na qual vão operar as bombas. Deve ser dada atenção ao regime de produção (dia festivo / noite / dia) e o valor médio anual considerado para a determinação das economias, sendo este último a utilizar.

2) Altura manométrica (mca): necessária pode ser obtida por meio da seguinte equação, cujas variáveis de entrada devem ser obtidas por cálculo na fase de ex-ante (proposta de projeto), conforme Equação 13:

Equação 13. Altura manométrica média (sistema proposto).

$$H_{pi} = (P_{rec} + \frac{V_{rec}^2}{2 * g}) - (P_{suc} + \frac{V_{suc}^2}{2 * g}) + \Delta H_g$$

Onde:

H_{pi} = altura manométrica (mca);

P_{rec} = pressão de recalque da bomba (mca);

P_{suc} = pressão de sucção da bomba (mca);

V_{rec} = velocidade na seção de recalque no ponto P_{rec} (m/s);

V_{suc} = velocidade na seção de sucção no ponto P_{rec} (m/s);

G = aceleração da gravidade (m/s²);

ΔH_g = desnível geométrico entre os pontos P_{rec} e Pre.

3) Potência nominal do motor (cv): para cada sistema (motor ou conjunto de motores) preencher a potência nominal do motor ou a soma das potências nominais dos motores agrupados. A unidade é o cv (cavalo motor). Deve-se manter os mesmos agrupamentos feitos na tabela de situação atual.

4) Carregamento: é o carregamento médio do motor ou conjunto de motores. O carregamento pode ser obtido por medição ou cálculo matemático, cujo valor é dado por (Equação 14):

Equação 14. Carregamento médio e potência requerida (sistema proposto).

$$\text{Carregamento} = \frac{\text{Potência Requerida (kW)}}{\text{Potência Nominal (kW)}}$$

$$\text{Potência Requerida} = \frac{9,81 * Q_{pi} * H_{pi}}{\eta_{pi}} \text{ (kW)}$$

Onde:

Q_{pi} = vazão média requerida (m³/s);

H_{pi} = altura manométrica (mca);

η_{pi} = rendimento conjunto motobomba.

O carregamento representa uma das principais mudanças do projeto, pois espera-se que o novo motor, por ser de maior rendimento, tenha uma potência nominal menor em relação ao anterior.

5a) Rendimento nominal (%): é o rendimento do motor informado no catálogo ou na placa do próprio equipamento. Este valor também tende a permanecer o mesmo, a menos que algum motor seja substituído.

5b) Rendimento no ponto de carregamento (%): é o rendimento do motobomba quando em operação no ponto de carregamento identificado no item 4. O valor do rendimento é obtido diretamente na curva rendimento x carregamento cada pelo fabricante.

6) Quantidade: é a quantidade de motores do sistema considerado. Somente podem ser agrupados em um mesmo sistema motores com as mesmas características de instalação e funcionamento – potência, rotação, carregamento, horas de funcionamento.

7) Potência instalada (kW): é a potência elétrica nominal do motor resultante (convertidos cv em kW) da potência mecânica nominal entregue pelo eixo do motor, considerando-se ainda o próprio rendimento (Equação 15).

Equação 15. Potência instalada do motor (sistema proposto).

$$P_{pi} = \frac{P_{pi} * 0,736 * q_{pi}}{\eta_{mpi}}$$

Onde:

P_{pi} = potência do motor no sistema i proposto;

q_{pi} = número de motores no sistema i proposto;

η_{mpi} = rendimento nominal do motor no sistema i proposto.

8) Potência média utilizada (kW): é a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia considerando o carregamento médio do motor, que por sua vez foi calculado a partir da vazão média requerida (Equação 16).

Equação 16. Potência média utilizada (sistema proposto).

$$P_{upi} = P_{pi} * \Upsilon_{pi} * \frac{\eta_{mpi}}{\eta_{pi}}$$

Onde:

P_{pi} = potência do motor no sistema i proposto;

Υ_{pi} = carregamento do motor no sistema i atual;

η_{mpi} = rendimento nominal do conjunto motobomba no sistema i proposto;

η_{pi} = rendimento nominal do conjunto motobomba no sistema i proposto.

9) Funcionamento (h/ano): tempo médio de funcionamento em horas durante um ano.

10) FCP (fator de coincidência na ponta): varia entre 0 e 1. Indica o percentual de equipamentos de um mesmo sistema que são utilizados no horário de ponta (conforme Equação 17).

Equação 17. Fator de coincidência na ponta (sistema proposto).

$$FCP = \frac{nm * nd * nup}{792}$$

Onde:

nm = número de meses de utilização dos sistemas no horário de ponta;

nd = número de dias por mês de utilização em horário de ponta;

nup = número de horas de utilização em horário de ponta;

792 = número total de horas de ponta em 1 ano (atenção que cada edital tem a informação do tempo a ser considerado para o cálculo que varia entre as distribuidoras de energia. Algumas consideram os feriados, outras não).

11a ou 11b) Consumo de energia produção/distribuição (kWh/ano) ou Energia consumida (MWh/ano): é a energia total consumida em um ano considerando a potência média utilizada pelo sistema e o tempo de funcionamento (Equação 18).

Equação 18. Consumo de energia ou energia consumida (sistema proposto).

$$Epi = \frac{Pupi * hpi}{1000}$$

Onde:

Pupi = potência média utilizada no sistema i proposto;

hpi = horas de funcionamento no sistema i proposto.

12) Demanda média na ponta (kW): é a demanda média requerida pelo sistema considerando a potência média utilizada e o fator de coincidência (Equação 19).

Equação 19. Demanda média na ponta (sistema proposto).

$$Dpi = Pupi * FCPpi$$

Onde:

Pupi = potência média utilizada no sistema i proposto;

FCPpi = fator de coincidência na ponta no sistema i proposto.

- **SEÇÃO 03: Resultados esperados**

Os cálculos mais completos poderão ser apresentados (resultados esperados), desde que contemplem os itens abaixo (Tabela 12).

Tabela 12. Resultados esperados – Reabilitação ou substituição de motobombas

RESULTADOS ESPERADOS							
Descrição / unidade		Cálculo (fórmulas)	Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL ECONOMIZADO
1	Redução de demanda na ponta (kW)	$RDP_i = D_{ai} - D_{pi}$					$RDP = \sum RDP_i$
2	Redução de demanda na ponta (%)	$RDP\% = RDP_i / D_{ai} \times 100$					$RDP\% = RDP / D_a \times 100$
3	Energia economizada (MWh/ano)	$EE_i = E_{ai} - E_{pi}$					$EE = \sum EE_i$
4	Energia economizada (%)	$EE\% = EE_i / E_{ai} \times 100$					$EE\% = EE / E_a \times 100$

Fonte: ANEEL, 2019.

As seguintes fórmulas expressam os resultados esperados de energia evitada e de demanda reduzida na ponta de forma mais detalhada:

1) Redução de demanda na ponta (kW), conforme Equação 20:

Equação 20. Redução de demanda na ponta (kW).

$$RDP = \sum_{\text{sistema } i} (P_{pi} * \Upsilon_{pi} * \frac{\eta_{mpi}}{\eta_{pi}} * FCP_{pi} - P_{ai} * \Upsilon_{ai} * \frac{\eta_{mai}}{\eta_{ai}} * FCP_{ai})$$

Onde:

RDP = Redução de demanda na ponta (kW);

P_{pi} = Potência do motor no sistema i proposto em CV;

Υ_{pi} = Carregamento do motor no sistema i proposto;

η_{npi} = Rendimento nominal do motor no sistema i proposto;

η_{pi} = Rendimento do motor no sistema i proposto;

FCP_{pi} = Fator de coincidência na ponta no sistema i proposto;

P_{ai} = Potência do motor no sistema i atual em CV;

Υ_{ai} = Carregamento do motor no sistema i atual;

η_{nai} = Rendimento nominal do motor no sistema i atual;

η_{ai} = Rendimento do motor no sistema i atual;

FCP_{ai} = Fator de coincidência na ponta no sistema i atual;

* **FCP_{pi}** só é diferente de **FCP_{ai}** quando houver alguma mudança no sistema implementada pelo projeto, que o permita.

2) Energia economizada (MWh/ano): a economia de energia é obtida através da diferença entre o consumo específico medido das bombas antes das intervenções menos o

consumo específico da bomba proposta, multiplicado pelo volume aduzido, conforme fórmula a seguir (Equação 21):

Equação 21. Energia economizada, consumo específico e volume de água.

$$EE = \left(\frac{kWh}{m^3} ai - \frac{kWh}{m^3} pi \right) * V * 10^{-3}$$

Onde:

EE = Energia economizada em MWh/ano;

$\frac{kWh}{m^3}$ **ai** = Consumo específico da elevação de água no sistema i atual;

$\frac{kWh}{m^3}$ **pi** = Consumo específico da elevação de água no sistema i proposto;

V = Volume de água em elevar em m³/ano.

O método preconizado pelos sistemas motrizes do PROPEE (Procedimentos do Programa de Eficiência Energética da ANEEL) segue a derivação pela potência do motor conforme segue (Equação 22):

Equação 22. Energia economizada (MWh/ano).

$$EE = \left(\sum_{\text{sistema } i} \left(\frac{qai * Pai * 0,736 * Yai}{\eta ai} * hai - \frac{qpi * Ppi * 0,736 * Ypi}{\eta pi} * hpi \right) \right) * 10^{-3}$$

Onde:

EE = Energia economizada em MWh/ano;

qai = Número de motores no sistema i atual;

Pai = Potência do motor no sistema i atual em CV;

Yai = Carregamento do motor no sistema i atual;

ηai = Rendimento do motor no sistema i atual;

hai = Tempo de funcionamento no sistema i atual em h/ano;

0,736 = Conversão de CV para kW em kW/CV;

qpi = Número de motores no sistema i proposto;

Ppi = Potência do motor no sistema i proposto em CV;

Ypi = Carregamento do motor no sistema i proposto;

ηpi = Rendimento do motor no sistema i proposto; **hpi** = Tempo de funcionamento no sistema i proposto em h/ano;

* **hpi** só é diferente de **hai** quando houver alguma mudança no sistema operacional implementada pelo projeto, que o justifique.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos após aplicação da metodologia proposta. Logo, após seguem os resultados apresentados nas seções subsequentes, aplicando a metodologia descrita.

5.1 Avaliação da situação atual (levantamento de dados)

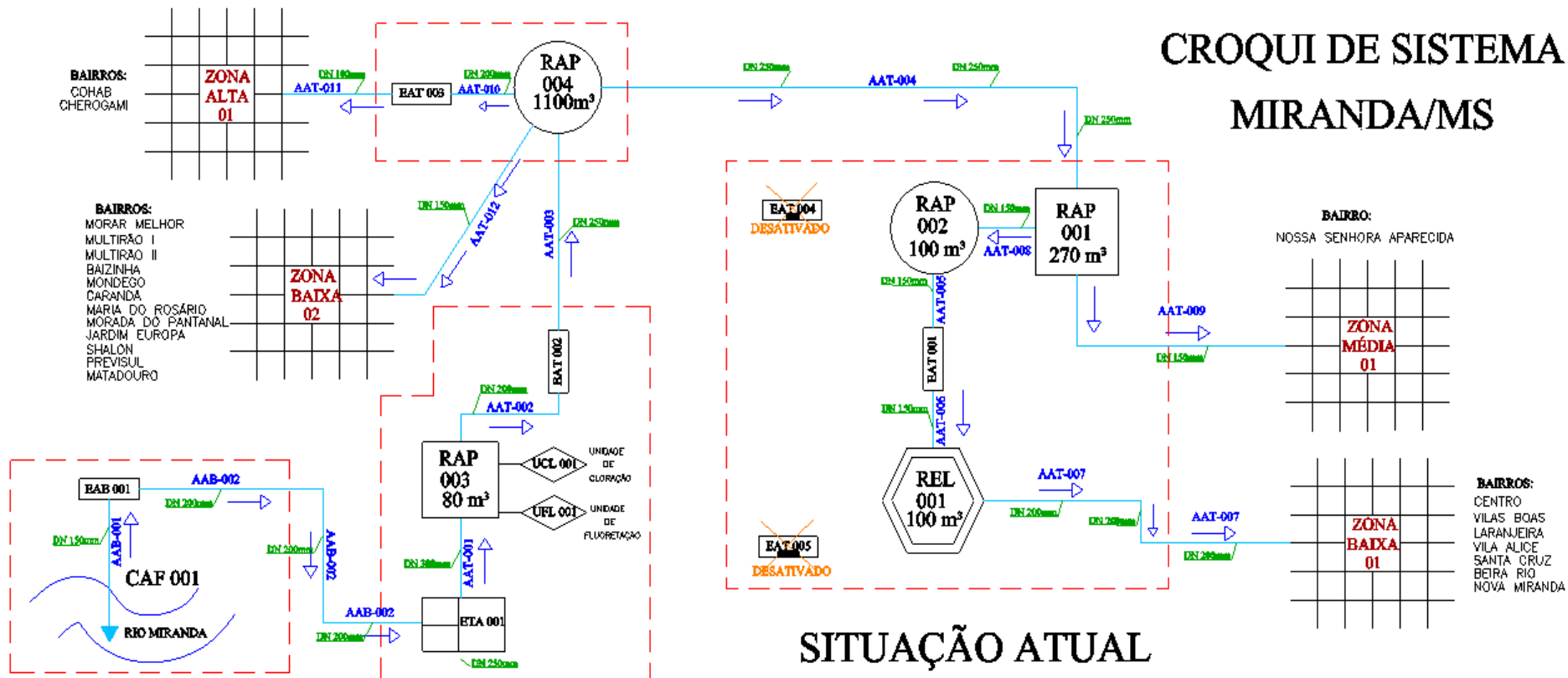
A eficiência energética em sistema de abastecimento de água desempenha um papel crucial na busca por práticas sustentáveis e na otimização dos recursos disponíveis. Nesse contexto, uma avaliação da situação atual do SAA em Miranda/MS foi conduzida por meio de um levantamento de dados na empresa SANESUL que é responsável pelo sistema de abastecimento do município.

As unidades operacionais que compõem os sistemas de abastecimento de água em Miranda/MS se distribuem em diversas etapas fundamentais. Desde a captação inicial, passando pela estação elevatória de água bruta, estação de tratamento de água, unidade de fluoretação e cloração, até a reservação, estação elevatória de água tratada, adutoras e redes de distribuição, cada componente desempenha um papel específico no processo (Figura 18).

De acordo com o levantamento realizado no período de janeiro de 2023 a dezembro de 2023, constatou-se que a capacidade total de produção de água atingiu 3.365.601,00 m³, enquanto o consumo de energia associado a esse processo totalizou 543.665,12 kWh. Esses números representam uma base sólida para compreender a relação entre a produção de água e o consumo energético no sistema de abastecimento local, que neste ano de 2023 representou 0,16 kWh/m³.

A avaliação da eficiência energética nesse contexto envolveu a análise detalhada do consumo de energia em cada uma dessas unidades operacionais para que fosse possível se identificar oportunidades de otimização, modernização e implementação de tecnologias mais eficientes. Fatores estes cruciais para reduzir o consumo energético global do sistema, promovendo assim práticas sustentáveis e economicamente viáveis.

Figura 18. Croqui de sistema de Miranda/MS (situação atual).



Fonte: Operado pela empresa SANESUL (2023).

5.2 Definição do problema

A empresa SANESUL, responsável pelo fornecimento de água em Miranda/MS, encontra-se diante de um desafio crítico que demanda aprimoramento operacional e redução de custos, especificamente relacionados ao consumo de energia elétrica nas bombas do sistema de distribuição de água na cidade.

O problema identificado concentra-se na eficiência energética das bombas que impulsionam a água pelo sistema de distribuição. A necessidade de operação constante desses equipamentos para garantir o fornecimento adequado de água à população resulta em um consumo significativo de energia elétrica, impactando diretamente nos custos operacionais da SANESUL.

A busca por soluções eficazes requer uma análise aprofundada das práticas operacionais atuais, identificando os pontos críticos que contribuem para o consumo excessivo de energia. As questões como a manutenção adequada das bombas, ajustes nos horários de operação em períodos de menor demanda e a possível implementação de tecnologias mais eficientes são aspectos fundamentais a serem considerados.

Diante desse cenário, a empresa SANESUL está comprometida em buscar soluções inovadoras, como a adoção de tecnologias mais eficientes, a implementação de práticas operacionais sustentáveis e a capacitação da equipe para o gerenciamento otimizado das bombas. Essa abordagem integrada visa não apenas resolver o problema imediato, mas também estabelecer as bases para um sistema de abastecimento de água mais eficiente, econômico e ambientalmente responsável em Miranda/MS. Algumas ações são descritas a seguir:

- Substituição ou redimensionamento das bombas: As bombas desempenham um papel central no sistema de abastecimento de água, impulsionando o fluxo de água através das tubulações. No caso específico de Miranda/MS, as bombas EAB-001, EAT-001, EAT-002 e EAT-003 estão passando por um processo de redimensionamento ou substituição. Essa medida visa otimizar o desempenho do sistema, ajustando a

capacidade das bombas de acordo com as necessidades atuais de abastecimento da região;

- **Integração com Tarifas de Energia:** A eficiência energética é uma preocupação crescente em projetos de infraestrutura. O uso da bomba durante os horários de pico pode resultar em custos mais elevados de energia. Portanto, planejar a operação da bomba de acordo com os horários de tarifa mais baixa pode representar uma economia significativa para o sistema de abastecimento;
- **Inversor de Frequência na Bomba:** A Zona Alta do município demanda uma atenção especial no sistema de abastecimento. Para otimizar a distribuição de água nessa área, foi verificado para qual bomba é viável técnica e economicamente ser equipada com um inversor de frequência. Essa tecnologia permite ajustar a velocidade da bomba de acordo com a demanda, resultando em um uso mais eficiente da energia e garantindo um fluxo constante de água adequado às necessidades locais;
- **Substituição das redes e nova adutora:** Uma das iniciativas primordiais em curso consiste na substituição das antigas redes de cimento amianto por tubulações de PVC. Este passo é fundamental para assegurar a qualidade da água e reduzir os riscos associados à presença de cimento amianto nas tubulações. Além disso, a instalação de uma nova adutora fortalecerá a capacidade de transporte de água, permitindo um fornecimento mais eficiente e confiável;
- **Implantação do novo reservatório:** A proposta é implantar um reservatório com uma capacidade de armazenamento maior. Esse reservatório visa abastecer as diferentes zonas de Miranda/MS: Zona Baixa, Zona Média e Zona Alta. A escolha da capacidade do reservatório leva em consideração a demanda por água em diferentes altitudes do município, garantindo um abastecimento adequado em todas as regiões.

A avaliação do desempenho dos sistemas de água foi projetada em três cenários de operação distintos, sendo eles todos citados e, posteriormente descritos com detalhes.

✓ **Cenário 01 - Eficiência energética em quatro sistemas de bombeamento de Miranda/MS:**

- Possibilidade de substituição ou redimensionamento das bombas (EAB-001, EAT-001, EAT-002 e EAT-003).

✓ **Cenário 02 - Diagnóstico energético em sistema de bombeamento e instalação de inversores de frequência em Miranda/MS:**

- Análise da tarifa de energia, com Horário de Ponta e Horário Fora de Ponta para a bomba EAT-002;

- Implementação de inversor de frequência na bomba EAT-003.

✓ **Cenário 03 - Eficiência energética e melhoria operacional dos sistemas de água de Miranda/MS:**

- Substituição das redes de cimento amianto por PVC;

- Instalação da nova adutora;

- Implantação do novo reservatório RAP-005 e desativação dos reservatórios existentes (RAP-001, RAP-002 e REL-001);

- Consideração de substituição ou redimensionamento das bombas (EAB-001, EAT-001, EAT-002 e EAT-003);

- Implementação de inversor de frequência na bomba EAT-003;

- Reavaliação da tarifa de energia das bombas.

Ao implementar essas soluções, busca-se não apenas a eficiência operacional imediata, mas também a sustentabilidade a longo prazo do sistema de abastecimento de água em Miranda/MS, alinhando-se às melhores práticas e à inovação tecnológica. Os cenários serão descritos com detalhes a seguir.

5.3 Cenário 01: Eficiência energética em quatro sistemas de bombeamento de Miranda/MS

5.3.1 Otimização do sistema de bombeamento

Os projetos típicos para aumentar o rendimento dos conjuntos motor bomba incluem a troca do conjunto motobomba, ou seja, a renovação dos conjuntos. Saliencia-se que a substituição ou renovação do conjunto motobomba, visando condições de operação de maior rendimento, constitui uma medida de eficiência energética.

Com passar dos anos, os conjuntos motobombas naturalmente sofrem desgastes, resultando em uma queda gradual de seu rendimento. Assim, eles podem estar operando de forma ineficiente e, muitas vezes sem o conhecimento do prestador de serviços responsável por sua operação.

A reabilitação ou substituição, em muitos casos, evita custos que se justificam ao autofinanciar as medidas em poucos meses. Frequentemente, nos sistemas de abastecimento de água, há motobombas que com manutenção adequada operam por mais de 20 anos, mesmo que a vida útil típica de equipamentos eletromecânicos varie entre 5 e 15 anos.

Quando adotadas em conjunto com as ações de substituição de motores ou a substituição dos conjuntos motobombas, essas medidas potencializam os resultados de Energia Evitada (EE) e a Retirada de Demanda na Ponta (RDP).

A avaliação da necessidade de substituição ou redimensionamento das bombas representa uma estratégia para otimizar a operação do sistema, levando em consideração tanto a demanda atual, quanto as projeções futuras de consumo de água.

Dado o exposto, foram identificadas oportunidades de otimização no sistema de bombeamento, o que incluía a substituição de bombas antigas por modelos mais eficientes ou redimensionamento das bombas de acordo com as necessidades reais.

✓ Cálculo para reabilitação ou substituição de bombas (sistema atual)

Os cálculos mais abrangentes, de janeiro a dezembro de 2023, levaram em consideração os dados obtidos do sistema atual. Conforme descrito na “SEÇÃO 01:

Determinação da situação atual” do referencial bibliográfico, foram realizados cálculos com alguns dados obtidos na SANESUL, apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Sistema atual de bombas instaladas no município de Miranda.

SISTEMA ATUAL						
Descrição / unidade		Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL
		Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP-001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)	
		Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003	
Vazão média (m ³ /s)	Q_{ai}	0,05	0,04	0,05	0,01	
Vazão média (m ³ /h)	Q_{ai}	182,85	152,40	162,01	21,07	
Altura manométrica média (mca)	H_{ai}	20,00	20,00	41,00	23,50	
Potência nominal do motor (cv)	p_{ai}	30	25	50	4,5	
Carregamento	γ_{ai}	0,58	0,72	0,66	0,60	
Rendimento nominal (%)	η_{nai}	78,00	63,00	75,00	68,00	
Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{ai}	78,00	63,00	75,00	68,00	
Quantidade	q_{ai}	1,00	1,00	1,00	1,00	
Potência instalada (kW)	$P_{ai}=(p_{ai}*0,736*q_{ai})/(\eta_{nai}/100)$	28,31	29,21	49,07	4,87	
Potência média utilizada (kW)	$P_{uai}=P_{ai}*\gamma_{ai}*(\eta_{nai}/\eta_{ai})$	16,40	20,95	32,21	2,92	
Funcionamento (h/ano)	h_{ai}	652,92	398,08	528,25	703,92	
FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{ai}	1,00	0,50	1,00	1,00	
Consumo de energia produção (KWh/ano) ou Consumo de energia distribuição (KWh/ano)	$E_{ai}=(P_{uai}*h_{ai})$	10.704,77	8.338,53	17.014,39	2.056,21	
Energia consumida (MWh/ano)	$E_{ai}=(P_{uai}*h_{ai})/1000$	10,70	8,34	17,01	2,06	45,31
Demanda média na ponta (kW)	$D_{ai}=P_{uai}*FCP_{ai}$	16,40	10,53	32,21	2,92	74,32

Fonte: Autor, 2024.

Os dados da potência do motor, rendimento nominal e a energia total elétrica consumida no sistema atual das quatro bombas são os seguintes:

- Bomba EAB-001:
 - Potência: 30 CV
 - Rendimento nominal: 78%
 - Energia consumida: 10.704,77 kWh/ano
- Bomba EAT-001:
 - Potência: 25 CV
 - Rendimento nominal: 63%
 - Energia consumida: 8.338,53 kWh/ano
- Bomba EAT-002:
 - Potência: 50 CV
 - Rendimento nominal: 75%
 - Energia consumida: 17.014,39 kWh/ano
- Bomba EAT-003:

- Potência: 4,5 CV
- Rendimento nominal: 68%
- Energia consumida: 2.056,21 kWh/ano

✓ **Cálculo do indicador de eficiência em sistemas de bombas**

De acordo com Silva (2020), o indicador Ph5 ou CEN ($\text{kWh/m}^3 \times 100\text{m}$) representa o indicador de eficiência em instalações elevatórias da IWA (*International Water Association*). O indicador IWA Ph5 normaliza todos os bombeamentos, convertendo o volume elevado para 1 m^3 a uma altura manométrica de 100 m. Os valores da eficiência energética η (%) para avaliação do rendimento da bomba são os seguintes: qualidade de serviço boa (de 68% a 100% - operação eficiente), qualidade de serviço mediana (de 50% a 68% - operação como eficiência média) e qualidade de serviço insatisfatória (inferior a 50% - operação ineficiente), como pode ser verificado na Tabela 14.

Tabela 14. Valores de referência para efeitos de avaliação.

Valores de referência para efeitos de avaliação			
Qualidade	Eficiência energética - Ph5/CEN ($\text{kWh/m}^3 \cdot 100\text{m}$)	Eficiência energética (%)	Avaliação
Qualidade do serviço boa	(0,27 a 0,40 $\text{kWh/m}^3 \times 100\text{m}$)	68% - 100%	Operação eficiente
Qualidade do serviço mediana	(0,40 a 0,54 $\text{kWh/m}^3 \times 100\text{m}$)	50% - 68%	Operação como eficiência média
Qualidade do serviço insatisfatória	(0,54 a + XXX $\text{kWh/m}^3 \times 100\text{m}$)	Inferior a 50%	Operação ineficiente

Fonte: Silva, 2020.

Na avaliação atual do sistema, constatou-se que as bombas EAT-001 e EAT-003 estão operando de forma ineficiente, enquanto as bombas EAB-001 e EAT-002 apresentam eficiência média.

A bomba EAT-001 possui uma eficiência de 39,65%, e a bomba EAT-003, de 46,20%. Esses valores indicam uma qualidade de serviço insatisfatória, estando ambas as operações ineficientes em um patamar abaixo de 50%.

Por outro lado, a bomba EAB-001 opera com 60,78% de eficiência, e a bomba EAT-002, com 56,20%. Esses resultados refletem uma qualidade de serviço mediana, situando-se entre 50% e 68% de eficiência média.

Em realidade, cada estação elevatória tem os seus próprios valores de referência de acordo com a sua potência e as especificações dos fabricantes. Os resultados dos valores de referência para a avaliação atual das quatro bombas estão representados na Tabela 15, relativa aos valores de CEN das unidades estudadas.

Tabela 15. Eficiência eletromecânica em instalações elevatórias – Sistema atual (Cenário 01).

SISTEMA ATUAL				
Descrição	Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04
	Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP-001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)
	Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003
Volume recalcado (média) - m ³	119386,00	60667,67	85579,92	14833,17
Altura manométrica - Hmt	20,00	20,00	41,00	23,50
Energia consumida - kWh	10704,77	8338,53	17014,39	2056,21
CEN / Ph5 (kWh/m ³ x100m)	0,45	0,69	0,48	0,59
Eficiência energética - η (%)	60,78	39,65	56,20	46,20
Avaliação do rendimento da bomba	Operação como eficiência média	Operação ineficiente	Operação como eficiência média	Operação ineficiente

Fonte: Autor, 2024.

5.3.2 Comparação e avaliação final – Sistema de bombeamento

Ao comparar e avaliar sistemas atuais com propostas de melhorias em eficiência energética de sistemas de bombeamento é crucial identificar oportunidades de economia de energia, redução de custos e melhoria no desempenho do sistema.

Um estudo detalhado e uma análise cuidadosa são fundamentais para tomar decisões e garantir que o novo sistema atenda às necessidades operacionais, financeiras e ambientais da organização.

Conforme descrito na “SEÇÃO 02: Determinação do sistema proposto” do referencial bibliográfico, foram realizados cálculos que estão apresentados na Tabela 16. Esses cálculos referem-se ao sistema proposto, abrangendo o período de janeiro a dezembro de 2023.

Tabela 16. Cálculo - substituição de motobombas - Sistema proposto (Cenário 01).

SISTEMA PROPOSTO						
Descrição / unidade		Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL
		Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL- 001/RAP- 001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP- 004)	
		Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003	
Vazão média (m ³ /s)	Q_{pi}	0,05	0,04	0,05	0,01	
Vazão média (m ³ /h)	Q_{pi}	182,85	152,40	162,01	21,07	
Altura manométrica média (mca)	H_{pi}	20,00	20,00	41,00	23,50	
Potência nominal do motor (cv)	p_{pi}	25,00	15,00	35,00	3,50	
Carregamento	γ_{pi}	0,64	0,91	0,90	0,73	
Rendimento nominal (%)	η_{npi}	85,00	83,00	78,00	72,00	
Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{pi}	85,00	83,00	78,00	72,00	
Quantidade	q_{pi}	1,00	1,00	1,00	1,00	
Potência instalada (kW)	$P_{pi}=(p_{pi}*0,736*q_{pi})/\eta_{npi}$	21,65	13,30	33,03	3,58	
Potência média utilizada (kW)	$P_{upi}=P_{pi}*\gamma_{pi}*(\eta_{npi}/\eta_{pi})$	13,81	12,07	29,78	2,61	
Funcionamento (h/ano)	h_{pi}	652,92	398,08	528,25	703,92	
FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{pi}	1,00	0,50	1,00	1,00	
Consumo de energia produção (KWh/ano) ou Consumo de energia distribuição (KWh/ano)	$E_{pi}=(P_{upi}*h_{pi})$	9014,23	4804,13	15730,76	1834,09	
Energia consumida (MWh/ano)	$E_{pi}=(P_{upi}*h_{pi})/1000$	9,01	4,80	15,73	1,83	31,38
Demanda média na ponta (kW)	$D_{pi}=P_{upi}*FCP_{pi}$	13,81	6,03	29,78	2,61	52,22

Fonte: Autor, 2024.

No sistema proposto, as quatro bombas apresentam: diminuição da potência do motor, aumento do rendimento nominal e redução do consumo de energia elétrica total, sendo eles:

- Bomba EAB-001:
 - Potência: de 30 CV para 25 CV
 - Rendimento nominal: de 78% para 85%
 - Energia consumida: de 10.704,77 kWh/ano para 9.014,23 kWh/ano
- Bomba EAT-001:
 - Potência: de 25 CV para 15 CV
 - Rendimento nominal: de 63% para 83%
 - Energia consumida: de 8.338,53 kWh/ano para 4.804,13 kWh/ano
- Bomba EAT-002:
 - Potência: de 50 CV para 35 CV
 - Rendimento nominal: de 75% para 78%
 - Energia consumida: de 17.014,39 kWh/ano para 15.730,76 kWh/ano
- Bomba EAT-003:
 - Potência: de 4,5 CV para 3,5 CV
 - Rendimento nominal: de 68% para 72%
 - Energia consumida: de 2.056,21 kWh/ano para 1.834,09 kWh/ano

Os resultados dos valores de referência para a avaliação da eficiência energética das quatro bombas (sistema proposto) são apresentados na Tabela 17:

Tabela 17. Eficiência eletromecânica em instalações elevatórias – Sistema proposto (Cenário 01).

SISTEMA PROPOSTO				
Descrição	Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04
	Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP-001/RAP- 002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)
	Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003
Volume recalcado (média) - m ³	119386,00	60667,67	85579,92	14833,17
Altura manométrica - Hmt	20,00	20,00	41,00	23,50
Energia consumida - kWh	9014,23	4804,13	15730,76	1834,09
CEN / Ph5 (kWh/m ³ x100m)	0,38	0,40	0,45	0,53
Eficiência energética - η (%)	72,18	68,82	60,78	51,79
Avaliação do rendimento da bomba	Operação eficiente	Operação eficiente	Operação como eficiência média	Operação como eficiência média

Fonte: Autor, 2024.

Na avaliação realizada do sistema, constatou-se que as bombas EAB-001 e EAT-001 estão operando com eficiência ótima, desta forma, ambas apresentaram aumento na eficiência energética. A bomba EAB-001 possui uma eficiência de 72,18%, enquanto a bomba EAT-001 tem uma eficiência de 68,82%. Esses valores indicam uma qualidade de serviço boa, estando ambas as operações dentro da faixa de eficiência ótima, situando-se entre 68% e 100% de eficiência ótima.

Por outro lado, a bomba EAT-002 opera com 60,78% de eficiência, e a bomba EAT-003 com 51,79%. Esses resultados também representam um aumento na eficiência, mantendo uma qualidade de serviço mediana, dentro da mesma faixa de eficiência média.

A definição das metas de energia economizada (em MWh/ano) e da redução de demanda na ponta (em kW), é baseada na diferença entre o consumo de energia do sistema atual (medido) e do sistema proposto. Conforme descrito na “SEÇÃO 03: Resultados Esperados” do referencial bibliográfico foram pesquisados cálculos dos resultados esperados são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18. Redução de demanda na ponta e energia economizada com substituição de conjunto motobomba no abastecimento de água (Cenário 01).

RESULTADOS ESPERADOS						
Descrição / unidade	Cálculo (fórmulas)	Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL ECONOMIZADO
		Região Cerâmica Baiazinha	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP-	Região Cerâmica Baiazinha	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)	
		Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003	
Redução de demanda na ponta (KW)	$RDPi = Dai - Dpi$	2,6	4,5	2,4	0,3	9,8
Redução de demanda na ponta (%)	$RDP\% = RDPi / Dai \times 100$	15,8	42,7	7,5	10,8	76,8
Energia economizada (MWh/ano)	$E Ei = Eai - Epi$	1,7	3,5	1,3	0,2	6,7
Energia economizada (%)	$EE\% = EEi / Eai \times 100$	15,8	42,4	7,5	10,8	76,5

Fonte: Autor, 2024.

5.3.3 Análise de investimento e *payback* - Sistema de bombeamento

A análise de investimento identifica oportunidades de melhoria e exige uma avaliação dos custos associados à implementação das medidas de eficiência energética, incluindo a aquisição de novos equipamentos, despesas de instalação, operação e manutenção.

A próxima etapa consiste na estimativa da economia de energia alcançada com tais medidas, realizada através de cálculos que levam em consideração as características específicas do sistema de bombeamento e as mudanças propostas. Com os custos e as economias de energia estimados, é possível calcular o *payback* descontado, que representa o tempo necessário para recuperar o investimento inicial através das economias de energia. Geralmente, projetos de eficiência energética com um *payback* menor são mais atrativos.

- *Payback* simples (sistema de bombeamento)

Foi pesquisada uma técnica de análise de investimentos, o *payback* simples, para avaliar o tempo necessário para recuperar o investimento inicial em um projeto. Calculou-se quanto tempo levará para os fluxos de caixa gerados pelo projeto igualarem o investimento inicial. O cálculo dos investimentos das quatro bombas resulta em um valor total de R\$ 115.000,00, conforme indicado na Tabela 19.

Tabela 19. Cálculo de investimentos (Cenário 01).

BOMBA - EAB-001 (Substituição) - ÁGUA BRUTA		
Variável	Unid	Valor
nbombas	unidade	2
Potência	cv	25
Custo Unitário	R\$/bomba	R\$ 18.000,00
Custo da Bomba	R\$	R\$ 36.000,00
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 36.000,00

BOMBA - EAT-002 (Substituição) - ÁGUA TRATADA		
Variável	Unid	Valor
nbombas	unidade	2
Potência	cv	35
Custo Unitário	R\$/bomba	R\$ 21.000,00
Custo da Bomba	R\$	R\$ 42.000,00
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 42.000,00

BOMBA - EAT-001 (Substituição) - ÁGUA TRATADA		
Variável	Unid	Valor
nbombas	unidade	2
Potência	cv	15
Custo Unitário	R\$/bomba	R\$ 16.000,00
Custo da Bomba	R\$	R\$ 32.000,00
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 32.000,00

BOMBA - EAT-003 (Substituição) - ÁGUA TRATADA		
Variável	Unid	Valor
nbombas	unidade	1
Potência	cv	3,5
Custo Unitário	R\$/bomba	R\$ 5.000,00
Custo da Bomba	R\$	R\$ 5.000,00
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 5.000,00

INVESTIMENTOS		
CUSTO TOTAL (R\$)		
Bomba EAB-001	R\$	36.000,00
Bomba EAT-001	R\$	32.000,00
Bomba EAT-002	R\$	42.000,00
Bomba EAT-003	R\$	5.000,00
TOTAL	R\$	115.000,00

Fonte: Autor, 2024.

Foi realizada uma análise financeira, incluindo o cálculo do custo evitado, que avalia os benefícios de evitar ou mitigar certos custos. Esse tipo de análise é comumente utilizado em projetos de melhoria de processos, investimentos em eficiência energética, entre outros. Em termos simples, o custo evitado representa o valor que uma empresa economiza ao evitar ou reduzir um custo específico. Isso pode incluir economias decorrentes da redução de desperdício, aprimoramento de eficiência operacional, prevenção de falhas de equipamentos, entre outros.

O cálculo do custo evitado das quatro bombas totaliza R\$ 17.400,00 por ano, também conforme mencionado na Tabela 20.

Tabela 20. Cálculos de custos evitados (Cenário 01).

Bomba EAB-001 (água bruta) - Custo evitado			
Variável	Unidade	Quantidade (antes)	Medida Isolada (depois)
Rendimento das bombas	%	0,78	0,85
Indicador de eficiência em instalação elevatória	kWh/m ³ *100m	0,35	0,32
Altura manométrica	mca	20,00	20,00
Velocidade	m ³ /s	0,05	0,05
Horas de operação	h/d	18,00	18,00
Volume de água	m ³ /d	3240,00	3240,00
Energia usada	kWh/d	226,38	207,74
Energia evitada	kWh/d	-	18,64
Tarifa Elétrica Fora Ponta	R\$/kWh	0,44	0,44
Custos Evitados	R\$/ano	-	2975,29
Custos Evitados (estimativa)	R\$/ano	-	R\$ 3.000,00

Bomba EAT-001 (água tratada) - Custo evitado			
Variável	Unidade	Quantidade (antes)	Medida Isolada (depois)
Rendimento das bombas	%	0,63	0,83
Indicador de eficiência em instalação elevatória	kWh/m ³ *100m	0,43	0,33
Altura manométrica	mca	20,00	20,00
Velocidade	m ³ /s	0,04	0,04
Horas de operação	h/d	18,00	18,00
Volume de água	m ³ /d	2592,00	2592,00
Energia usada	kWh/d	224,23	170,20
Energia evitada	kWh/d	-	54,03
Tarifa Elétrica Fora Ponta	R\$/kWh	0,44	0,44
Custos Evitados	R\$/ano	-	8622,75
Custos Evitados (estimativa)	R\$/ano	-	R\$ 8.700,00

Bomba EAT-002 (água tratada) - Custo evitado			
Variável	Unidade	Quantidade (antes)	Medida Isolada (depois)
Rendimento das bombas	%	0,75	0,78
Indicador de eficiência em instalação elevatória	kWh/m ³ *100m	0,36	0,35
Altura manométrica	mca	41,00	41,00
Velocidade	m ³ /s	0,05	0,05
Horas de operação	h/d	15,00	15,00
Volume de água	m ³ /d	2700,00	2700,00
Energia usada	kWh/d	402,21	386,74
Energia evitada	kWh/d	-	15,47
Tarifa Elétrica Fora Ponta	R\$/kWh	0,44	0,44
Custos Evitados	R\$/ano	-	2468,78
Custos Evitados (estimativa)	R\$/ano	-	2500,00

Bomba EAT-003 (água tratada) - Custo evitado			
Variável	Unidade	Quantidade (antes)	Medida Isolada (depois)
Rendimento das bombas	%	0,68	0,72
Indicador de eficiência em instalação elevatória	kWh/m ³ *100m	0,40	0,38
Altura manométrica	mca	23,50	23,50
Velocidade	m ³ /s	0,05	0,05
Horas de operação	h/d	21,00	21,00
Volume de água	m ³ /d	3780,00	3780,00
Energia usada	kWh/d	355,97	336,20
Energia evitada	kWh/d	-	19,78
Tarifa Elétrica Fora Ponta	R\$/kWh	0,44	0,44
Custos Evitados	R\$/ano	-	3156,08
Custos Evitados (estimativa)	R\$/ano	-	R\$ 3.200,00

CUSTOS EVITADOS	
CUSTO TOTAL (R\$/ano)	
Bomba EAB-001	R\$ 3.000,00
Bomba EAT-001	R\$ 8.700,00
Bomba EAT-002	R\$ 2.500,00
Bomba EAT-003	R\$ 3.200,00
TOTAL	R\$ 17.400,00

Fonte: Autor, 2024.

Os resultados mostram o cálculo do *payback* simples (Tabela 21), com o período de retorno estimado em 7 anos.

Tabela 21. Cálculo de *payback* simples (Cenário 01).

Descrição	Custos Evitados	Investimentos	Payback
Bombas (EAB-001, EAT-001, EAT-002 e EAT-003)	R\$ 17.400,00	R\$ 115.000,00	7 anos

Fonte: Autor, 2024.

- Payback descontado, Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Lucratividade (sistema de bombeamento)

O *payback* descontado (sistema de bombeamento) foi calculado para determinar o tempo necessário para recuperar o investimento inicial de R\$ 115.000,00, levando em conta o Valor Presente de cada Fluxo de Caixa Futuro, descontado a uma taxa de desconto de 10%. O Valor Presente Líquido (VPL) total do projeto é de R\$ 94.328,90 (ou seja, o retorno financeiro após considerar a atualização financeira e o investimento), com uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 20%. O tempo adicional para o *payback* descontado é de 7,72 anos. A taxa de lucratividade é de 1,82, indicando que a cada real investido tem-se um retorno de R\$1,82.

Com a avaliação conclui-se que o projeto é viável, pois o VPL é positivo, o TIR é maior que o valor descontado e o *payback* é considerável em sistemas mais robustos e custosos. Esse método auxilia na avaliação da viabilidade financeira de um projeto, considerando não apenas o período de retorno, mas também o risco associado ao investimento e o custo de oportunidade do capital. No cálculo foi considerada a substituição das bombas nos sistemas de abastecimento de água, sendo necessária devido à vida útil típica dos equipamentos eletromecânicos variar entre 5 e 15 anos (Tabela 22).

Tabela 22. Cálculo de *payback* descontado - Período de 15 anos (Cenário 01).

Investimento Inicial	R\$ 115.000,00		
Taxa de Desconto	10,00%		
Período (Ano)	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$ 115.000,00	-R\$ 115.000,00	-R\$ 115.000,00
1	R\$ 17.400,00	R\$ 15.818,18	-R\$ 99.181,82
2	R\$ 18.792,00	R\$ 15.530,58	-R\$ 83.651,24
3	R\$ 20.295,36	R\$ 15.248,20	-R\$ 68.403,04
4	R\$ 21.918,99	R\$ 14.970,96	-R\$ 53.432,07
5	R\$ 23.672,51	R\$ 14.698,76	-R\$ 38.733,31
6	R\$ 25.566,31	R\$ 14.431,51	-R\$ 24.301,79
7	R\$ 27.611,61	R\$ 14.169,12	-R\$ 10.132,67
8	R\$ 29.820,54	R\$ 13.911,50	R\$ 3.778,84
9	R\$ 32.206,19	R\$ 13.658,57	R\$ 17.437,40
10	R\$ 34.782,68	R\$ 13.410,23	R\$ 30.847,63
11	R\$ 37.565,29	R\$ 13.166,41	R\$ 44.014,04
12	R\$ 40.570,52	R\$ 12.927,02	R\$ 56.941,05
13	R\$ 43.816,16	R\$ 12.691,98	R\$ 69.633,04
14	R\$ 47.321,45	R\$ 12.461,22	R\$ 82.094,25
15	R\$ 51.107,17	R\$ 12.234,65	R\$ 94.328,90

Soma VPs (Ano 1 a 15)	R\$ 209.328,90
VPL do Projeto	R\$ 94.328,90
Taxa Interna de Retorno (TIR)	20%
Taxa de Lucratividade	1,82
Tempo de Payback (ano)	7,72
Resultado (projeto viável ou projeto inviável)	projeto viável

Fonte: Autor, 2024.

Como já mencionado em alguns sistemas de abastecimento de água, há bombas que pela manutenção adequada operam por mais de 20 anos, mesmo que a vida útil típica desses equipamentos eletromecânicos varie entre 5 e 15 anos.

Diante desta premissa foi calculado o *payback* descontado considerando um período de vida útil da bomba de 20 anos, com um investimento inicial de R\$ 115.000,00 e levando em conta o Valor Presente de cada Fluxo de Caixa Futuro, descontado a uma taxa de 10%. O VPL total do projeto é de R\$ 152.245,23, com uma Taxa Interna de Retorno de 22%, com *payback* de 7,72 anos e uma lucratividade de 2,32. Nesta avaliação conclui-se que o projeto é ainda mais viável que o da análise anterior (Tabela 23).

Tabela 23. Cálculo de *payback* descontado - Período de 20 anos (Cenário 01).

Soma VPs (Ano 1 a 20)	R\$ 267.245,23
VPL do Projeto	R\$ 152.245,23
Taxa Interna de Retorno (TIR)	22%
Taxa de Lucratividade	2,32
Tempo de Payback (ano)	7,72
Resultado (projeto viável ou projeto inviável)	projeto viável

Fonte: Autor, 2024.

5.4 Cenário 02: Diagnóstico energético em sistema de bombeamento e instalação de inversores de frequência em Miranda/MS

5.4.1 Análise de dados energéticos

Esta análise tem como objetivo verificar o enquadramento tarifário, padrão de entrada e demanda contratada para o estudo da viabilidade do projeto, bem como a

segregação em quatro unidades consumidoras. Realizou-se uma análise (sistema atual) dos custos associados a cada estação elevatória (bomba), levando em consideração as tarifas de energia Horária Azul, Horária Verde e Convencional (Baixa Tensão). A Tabela 24 e Tabela 25 apresentam os dados do consumo de energia de 12 meses consecutivos, referente ao período de janeiro a dezembro de 2023, e as informações sobre sistema tarifário, consumos, demandas, tensão, subgrupo, valores da tarifa foram retirados das contas de energia da empresa SANESUL.

Tabela 24. Tabela de energia das bombas (01) – Sistema atual (janeiro a dezembro de 2023).

Bomba	Mês Referência	Consumo Mensal (kWh)	Valor R\$	Consumo de Ponta (kWh)	Consumo Fora de Ponta (kWh)	Demanda Med. Ponta (kW)	Demanda Contratada Ponta (kW)	Demanda Faturada Ponta (kW)	Demanda Med. Fora de Ponta (kW)	Demanda Contratada Fora de Ponta (kW)	Demanda Faturada Fora de Ponta (kW)	Fat Pot Arq	Tensão	Sub Grupo Tensão	TipoTarifa	Valor Pis (R\$)	Valor Cofins (R\$)	Valor ICMS (R\$)
EAT-001	01/2023	8.899,00	7998,25	940	7959	21,48			23,45	30	30	1	A	B	VERDE	51,23	235,97	1386,01
EAT-001	02/2023	8.911,00	7555,68	736	8175	21,48			24,76	30	30	1	A	B	VERDE	69,52	320,23	1313
EAT-001	03/2023	7.096,00	6622,82	705	6391	21,81			23,45	30	30	1	A		VERDE	67	308,65	1308,4
EAT-001	04/2023	8.270,00	7582,48	845	7425	21,32			23,29	30	30	1	A	B	VERDE	60,67	279,49	1145,94
EAT-001	05/2023	7.494,00	6984,17	673	6821	22,63			24,76	30	30	1	A	B	VERDE	64,59	297,52	1219,87
EAT-001	06/2023	7.353,00	7228,15	782	6571	21,65			25,26	30	30	1	A	B	VERDE	62,73	288,97	1184,81
EAT-001	07/2023	6.663,00	6436,03	603	6060	18,53			23,62	30	30	1	A		VERDE	57,46	264,67	1085,21
EAT-001	08/2023	7.638,00	7194,98	696	6942	18,53			23,94	30	30	1	A		VERDE	67,24	309,78	1270,11
EAT-001	09/2023	7.944,00	7523,72	766	7178	19,02			23,78	30	30	1	A	B	VERDE	74,41	342,76	1360,11
EAT-001	10/2023	8.294,00	7587,99	727	7567	19,84			24,11	30	30	1	A	B	VERDE	64,29	296,15	1214,22
EAT-001	11/2023	9.095,00	8274,28	833	8262	19,52			22,96	30	30	1	A	B	VERDE	66,04	304,24	1196,12
EAT-001	12/2023	7.979,00	7338,88	698	7281	19,68			23,94	30	30	1	A	B	VERDE	68,21	314,28	1244,42
EAB-001	01/2023	18.316,00	14013,97	1705	16611	27,92	32	32	28,04	32	32	1	A	B	AZUL	124,89	575,27	2438,66
EAB-001	02/2023	16.287,00	12892,15	1482	14805	27,31	32	32	28,41	32	32	1	A	B	AZUL	118,81	547,27	2243,87
EAB-001	03/2023	16.523,00	13079,04	1811	14712	27,43	32	32	27,55	32	32	1	A	B	AZUL	120,52	555,2	2276,37
EAB-001	04/2023	14.918,00	12770,21	1403	13515	27,8	32	32	29,64	32	32	1	A	B	AZUL	114,94	529,48	2170,92
EAB-001	05/2023	15.361,00	13218,2	1737	13624	27,31	32	32	27,43	32	32	1	A	B	AZUL	118,99	548,1	2247,28
EAB-001	06/2023	14.660,00	12715,25	1667	12993	27,31	32	32	27,55	32	32	1	A	B	AZUL	114,43	527,2	2161,57
EAB-001	07/2023	18.268,00	14743,09	1817	16451	29,52	32	32	29,77	32	32	1	A		AZUL	132,69	611,27	2506,32
EAB-001	08/2023	17.503,00	14486,91	1903	15600	29,03	32	32	29,27	32	32	1	A	B	AZUL	130,4	600,65	2462,75
EAB-001	09/2023	18.353,00	14792,94	1621	16732	26,69	32	32	26,81	32	32	1	A		AZUL	134,16	618,07	2420,31
EAB-001	10/2023	18.464,00	14864,28	1633	16831	26,57	32	32	26,94	32	32	1	A	B	AZUL	134,83	621,05	2431,73
EAB-001	11/2023	19.520,00	15511,42	1679	17841	29,64	32	32	29,77	32	32	1	A	B	AZUL	140,07	645,2	2595,41
EAB-001	12/2023	20.617,00	16173,01	1742	18875	30,14	32	32	30,26	32	32	1	A	B	AZUL	145,94	672,19	2716,7

Fonte: Autor, 2024.

Tabela 25. Tabela de energia das bombas (02) – Sistema atual (janeiro a dezembro de 2023).

Bomba	Mês Referência	Consumo Mensal (kWh)	Valor R\$	Consumo de Ponta (kWh)	Consumo Fora de Ponta (kWh)	Demanda Med. Ponta (kW)	Demanda Contratada Ponta (kW)	Demanda Faturada Ponta (kW)	Demanda Med. Fora de Ponta (kW)	Demanda Contratada Fora de Ponta (kW)	Demanda Faturada Fora de Ponta (kW)	Fat Pot Arq	Tensão	Sub Grupo Tensão	TipoTarifa	Valor Pis (R\$)	Valor Cofins (R\$)	Valor ICMS (R\$)
EAT-002	01/2023	25.595,00	19895,83	2580	23015	43,1	48	48	43,89	48	48	1	A	B	AZUL	177,36	816,94	3463,13
EAT-002	02/2023	20.711,00	17523,72	1999	18712	45,51	48	48	45,31	48	48	1	A	B	AZUL	161,48	743,89	3050,03
EAT-002	03/2023	23.116,00	18991,98	2533	20583	43,39	48	48	43,44	48	48	1	A	B	AZUL	174,97	806	3304,66
EAT-002	04/2023	21.867,00	19266,97	2020	19847	43,15	48	48	48,17	48	48,17	1	A	B	AZUL	173,42	798,85	3275,37
EAT-002	05/2023	22.259,00	19609,04	2339	19920	46,99	48	48	46,64	48	48	1	A	B	AZUL	176,53	813,09	3333,8
EAT-002	06/2023	21.340,00	19005,16	2213	19127	45,17	48	48	45,46	48	48	1	A	B	AZUL	171,07	788	3230,86
EAT-002	07/2023	24.357,00	20719,26	2528	21829	43,89	48	48	49,64	48	49,64	1	A		AZUL	186,5	859,07	3522,27
EAT-002	08/2023	24.404,00	20693,63	2825	21579	45,41	48	48	46,79	48	48	1	A	B	AZUL	186,26	858	3517,91
EAT-002	09/2023	25.873,00	21182,9	2535	23338	44,48	48	48	43,94	48	48	1	A		AZUL	191,39	881,62	3534,63
EAT-002	10/2023	27.375,00	22017,49	2484	24891	45,31	48	48	45,36	48	48	1	A	B	AZUL	198,7	915,29	3695,08
EAT-002	11/2023	26.716,00	21877,89	2331	24385	45,81	48	48	45,61	48	48	1	A	B	AZUL	197,35	909,13	3678,68
EAT-002	12/2023	28.908,00	23341,78	2428	26480	46,3	48	48	48,9	48	48,9	1	A	B	AZUL	210,32	968,82	3947,85
EAT-003	01/2023	2.737,00	2783,32	0	2737								B	B	CONVENCIONAL	15,62	71,93	294,92
EAT-003	02/2023	2.070,00	2119,19	0	2070								B	B	CONVENCIONAL	15,76	72,59	297,61
EAT-003	03/2023	1.318,00	1363,71	0	1318								B	B	CONVENCIONAL	14,36	66,17	271,31
EAT-003	04/2023	1.579,00	1678,37	0	1579								B	B	CONVENCIONAL	14,75	67,95	278,58
EAT-003	05/2023	1.457,00	1697,93	0	1457								B	B	CONVENCIONAL	15,06	69,36	284,36
EAT-003	06/2023	1.481,00	1233,8	0	1481								B	B	CONVENCIONAL	14,81	68,23	279,76
EAT-003	07/2023	1.567,00	1822,32	0	1567								B	B	CONVENCIONAL	24,46	112,67	477,63
EAT-003	08/2023	1.413,00	1648,38	0	1413								B	B	CONVENCIONAL	12,21	56,22	230,48
EAT-003	09/2023	1.557,00	1811,02	0	1557								B	B	CONVENCIONAL	19,16	88,29	361,99
EAT-003	10/2023	1.536,00	1787,31	0	1536								B	B	CONVENCIONAL	13,3	61,25	251,14
EAT-003	11/2023	1.308,00	1529,78	0	1308								B	B	CONVENCIONAL	15,83	72,91	298,96
EAT-003	12/2023	1.550,00	1803,12	0	1550								B	B	CONVENCIONAL	15,93	73,38	300,88

Fonte: Autor, 2024.

5.4.2 Avaliação da tarifa de energia e da instalação de inversor de frequência

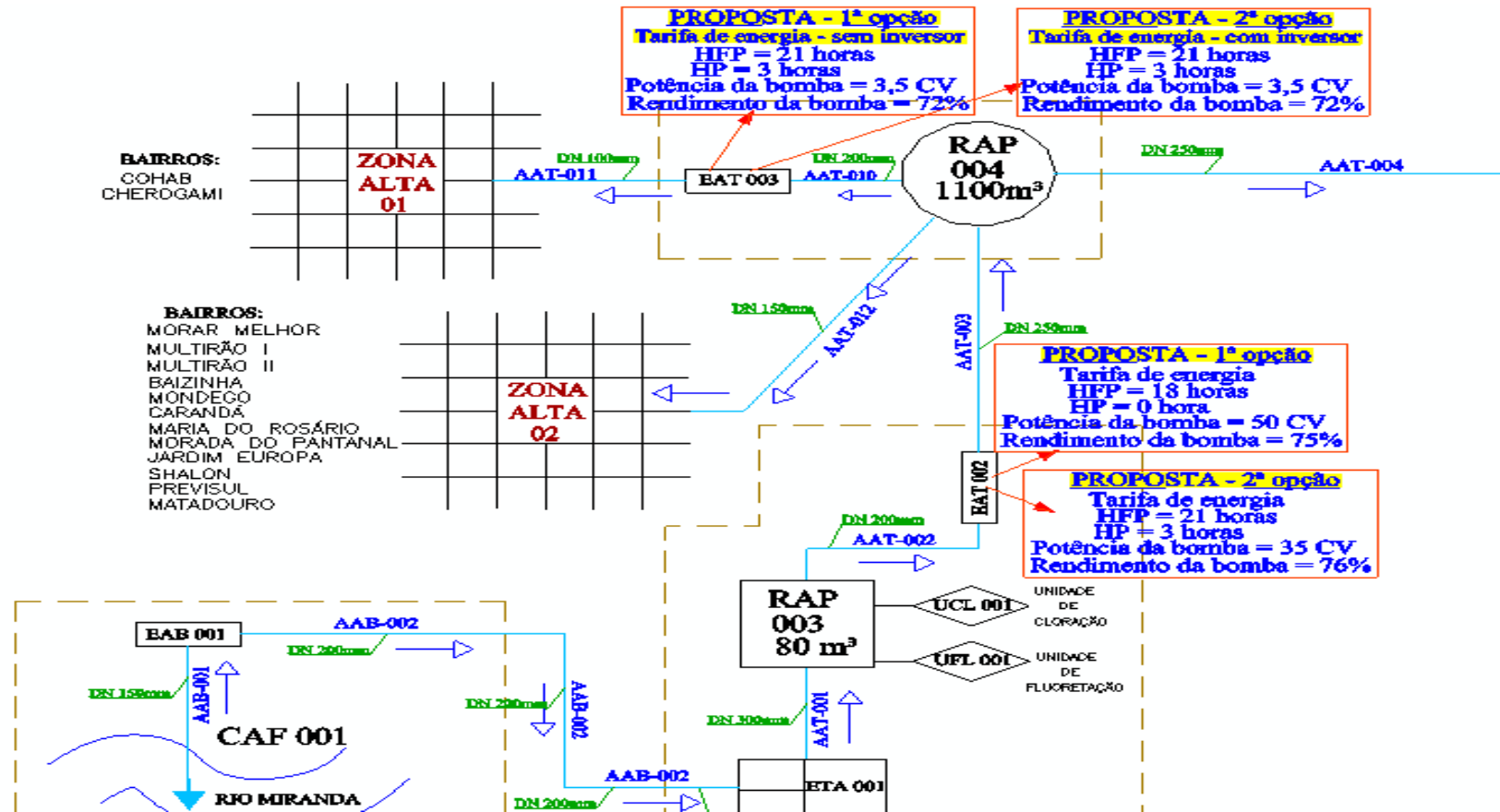
Após a análise energética das bombas EAB-001, EAT-001, EAT-002 e EAT-003 para o estudo e simulação da operação do sistema atual e do sistema proposto, verificou-se uma redução no consumo de energia elétrica e na demanda utilizada pelas estações elevatórias durante o Horário de Ponta. Um estudo foi conduzido para quantificar o consumo e a demanda de energia elétrica nos Horários de Ponta e Fora de Ponta ao longo do período analisado, de janeiro a dezembro de 2023.

A bomba EAT-002 foi escolhida como parte integrante do sistema de bombeamento para a distribuição de água na cidade de Miranda/MS. Esta bomba pode estar sujeita a tarifas mais altas se operada durante o Horário de Ponta. Portanto, é importante considerar estratégias para otimizar o uso dessas bombas, minimizando suas operações durante os Horários de Ponta (pico), sempre que possível.

O gerenciamento de energia, como a utilização das bombas durante as horas de menor custo de demanda (HFP) e a otimização das operações durante as Horas de Ponta, pode reduzir os custos de energia. Destaca-se a bomba EAT-002, responsável pelo bombeamento de água para o reservatório RAP-004, operando estrategicamente durante as Horas Fora de Ponta para minimizar os custos operacionais sem comprometer a qualidade do fornecimento de água.

A instalação do inversor de frequência na bomba EAT-003 destaca-se como uma inovação tecnológica crucial para o abastecimento da zona alta da cidade. Essa medida possibilita um controle mais preciso da velocidade da bomba, ajustando-a conforme a demanda de água em tempo real. Tal controle resulta em um uso mais eficiente da energia elétrica. Além de reduzir os custos operacionais, essa iniciativa também prolonga a vida útil dos equipamentos, minimizando o desgaste ao longo do tempo. Conforme na Figura 19.

Figura 19. Croqui de sistema – Tarifa de energia e instalação de inversor de frequência (sistema proposta).



Fonte: autor, 2024.

✓ **BOMBA EAT-002**

- Sistema atual (bomba EAT-002)

Na operação em horário de ponta do sistema atual (bomba EAT-002), a potência do motor da bomba é de 50 CV, com um rendimento de 75%. O consumo durante o horário fora de ponta é de 15 horas por dia, enquanto durante o horário de ponta é de 2,5 horas por dia. O consumo de energia durante o horário de ponta foi de 2.574,25 kWh, o que representa 10,00% do total, enquanto no horário fora de ponta foi de 23.168,25 kWh, equivalente a 90,00% do consumo elétrico no período. A demanda utilizada pela estação elevatória totalizou 49 kW, tanto no horário de ponta quanto fora dele. O valor total estimado, incluindo impostos, para o horário azul é de R\$ 21.504,34, enquanto para o horário verde é de R\$ 22.652,59 (Tabela 26).

Tabela 26. Valores de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta (Sistema atual).

Bomba EAT-002 - Sistema Atual				
Dias no período	30		Melhor Opção Tarifária	
Sábados/Domingos/Feriados	9			
Custo Mensal Estimado			HORÁRIA AZUL R\$ 21.504,34	
Tarifa Azul	Tarifa Verde			
R\$ 21.504,34	R\$ 22.652,59			
Operação em Horário de Ponta				
Potência do motor	Rendimento		Demanda Calculada	
50 CV	75%		49,03 kW	
Horário fora de ponta	Demanda Contratada		49 kW	
	Consumo (15 h/dia)		23.168,25 kWh	
Horário de ponta	Demanda Contratada		49 kW	
	Consumo (2,5 h/dia)		2.574,25 kWh	
Horária Azul				
Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Sub Total
Energia Ativa				
Demanda F. Pta (kW)	49,03	49,00	33,4000	R\$ 1.636,60
Demanda Pta (kW)	49,03	49,00	65,6900	R\$ 3.218,81
Consumo F. Pta (kWh)	23.168,25	23.168,25	0,437230	R\$ 10.129,85
Consumo Pta (kWh)	2.574,25	2.574,25	0,604400	R\$ 1.555,88
TOTAL FORNECIMENTO				R\$ 16.541,14
Impostos		ICMS	17,00%	R\$ 3.655,74
(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450%	R\$ 233,21
		COFINS	4,99550%	R\$ 1.074,25
Valor estimado com impostos*				R\$ 21.504,34
Horária Verde				
Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Sub Total
Energia Ativa				
Demanda (kW)	49,03 kW	49	33,4	R\$ 1.636,60
Consumo F. Pta (kWh)	23.168,25	23.168,25	0,43723	R\$ 10.129,85
Consumo Pta (kWh)	2.574,25	2.574,25	2,19789	R\$ 5.657,92
Bandeira Verde	25742,50	25742,50	0,00000	R\$ 0,00
TOTAL FORNECIMENTO				R\$ 17.424,37
Impostos		ICMS	17,00%	R\$ 3.850,94
(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450%	R\$ 245,67
		COFINS	4,99550%	R\$ 1.131,61
Valor estimado com impostos				R\$ 22.652,59

Fonte: autor, 2024.

- Sistema proposto (Bomba EAT-002) - 1ª opção

Na operação do sistema proposto (bomba EAT-002), a potência do motor da bomba é de 50 CV, com rendimento para 75% (não é necessário substituir a bomba). O consumo durante o Horário Fora de Ponta (HFP) é de 18 horas por dia, e não há Horário de Ponta (0 hora por dia). Foi realizada uma pesquisa do consumo de energia, resultando em um total de 26.478,00 kWh durante o HFP. A demanda utilizada pela estação elevatória totalizou 49 kW durante o HFP. O valor total estimado, incluindo impostos, para a Tarifa Horária Azul é de R\$ 17.178,34, enquanto para a Tarifa Horária Verde é de R\$ 17.178,34 (Tabela 27).

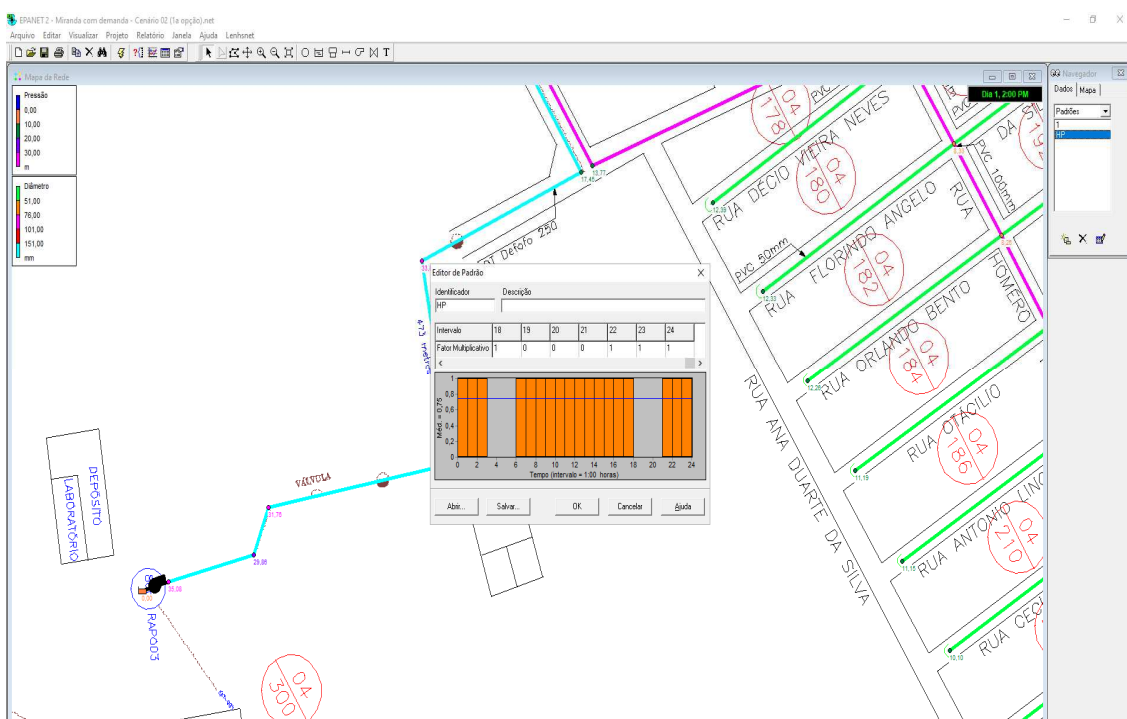
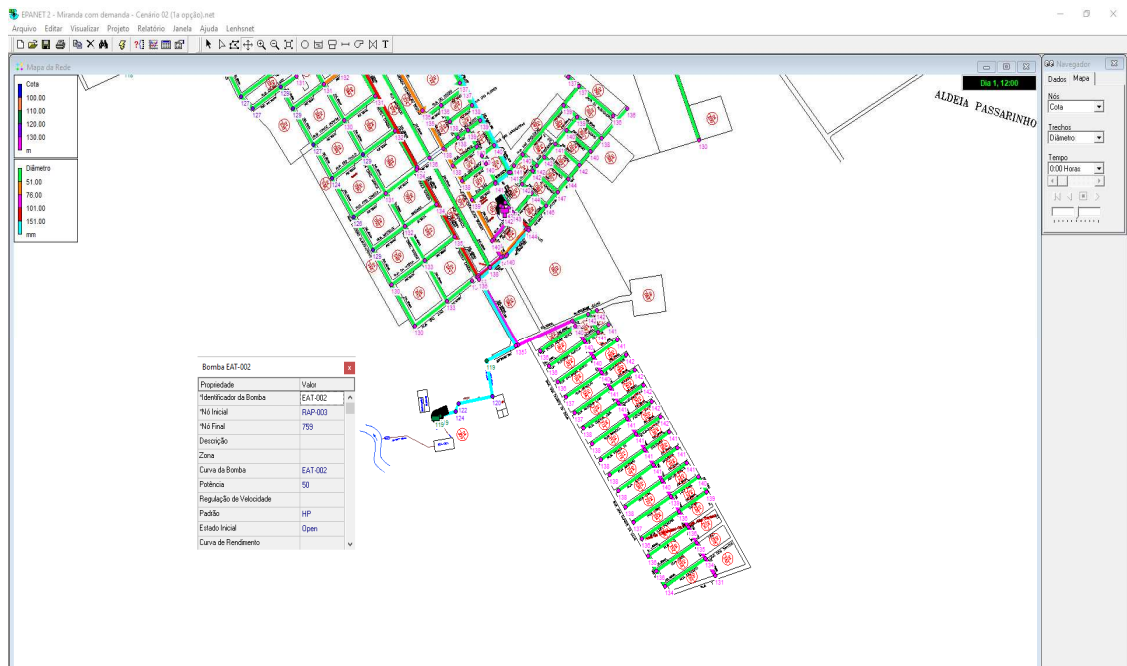
Tabela 27. Valores de consumo e demanda nos HFP= 18 horas e HP= 0 hora (Sistema proposto – 1ª opção – BOMBA EAT-002).

Bomba EAT-002 - Sistema Proposto (1ª opção) - HFP= 18 horas / HP= 0 hora				
Dias no período	30	Melhor Opção Tarifária		
Sábados/Domingos/Feriados	9			
Custo Mensal Estimado		HORÁRIA VERDE		
Tarifa Azul	Tarifa Verde	R\$ 17.178,34		
R\$ 17.178,34	R\$ 17.178,34	R\$ 17.178,34		
Operação em Horário de Ponta				
Potência do motor	Rendimento	Demanda Calculada		
50 CV	75%	49,03 kW		
Horário fora de ponta	Demanda Contratada	49 kW		
	Consumo (18 h/dia)	26.478,00 kWh		
Horário de ponta	Demanda Contratada	0 kW		
	Consumo (0 h/dia)	- kWh		
Horária Azul				
Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Sub Total
Energia Ativa				
Demanda F.Pta (kW)	49,03	49,00	33,4000	R\$ 1.636,60
Demanda Pta (kW)	-	-	65,6900	R\$ -
Consumo F.Pta (kWh)	26.478,00	26.478,00	0,437230	R\$ 11.576,98
Consumo Pta (kWh)	-	-	0,604400	R\$ -
TOTAL FORNECIMENTO			R\$	13.213,58
Impostos		ICMS	17,00%	R\$ 2.920,32
(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450%	R\$ 186,30
		COFINS	4,99550%	R\$ 858,14
Valor estimado com impostos*				R\$ 17.178,34
Horária Verde				
Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Sub Total
Energia Ativa				
Demanda (kW)	49,03 kW	49	33,4	R\$ 1.636,60
Consumo F.Pta (kWh)	26.478,00	26.478,00	0,43723	R\$ 11.576,98
Consumo Pta (kWh)	-	-	2,19789	R\$ -
Bandeira Verde	26.478,00	26.478,00		R\$ 0,00
TOTAL FORNECIMENTO			R\$	13.213,58
Impostos		ICMS	17,00%	R\$ 2.920,32
(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450%	R\$ 186,30
		COFINS	4,99550%	R\$ 858,14
Valor estimado com impostos				R\$ 17.178,34

Fonte: autor, 2024.

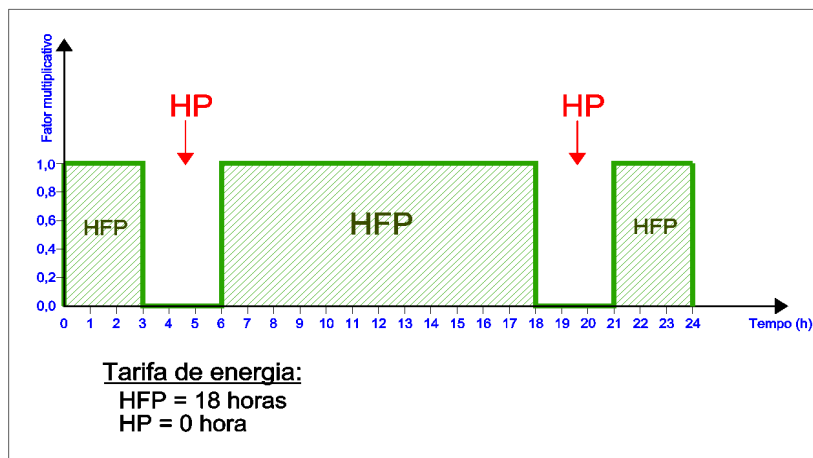
Foi realizada a simulação no Epanet da cidade de Miranda/MS para a bomba EAT-002, com potência de 50 CV e não é necessária a troca da bomba. O consumo durante o HFP é de 18 horas, e não há funcionamento durante o HP (das 03h às 06h e das 18h às 21h), conforme ilustrado na Figura 20 e Figura 21 da simulação.

Figura 20. Simulação do Epanet (1ª opção - proposto) – Bomba EAT-002



Fonte: autor, 2024.

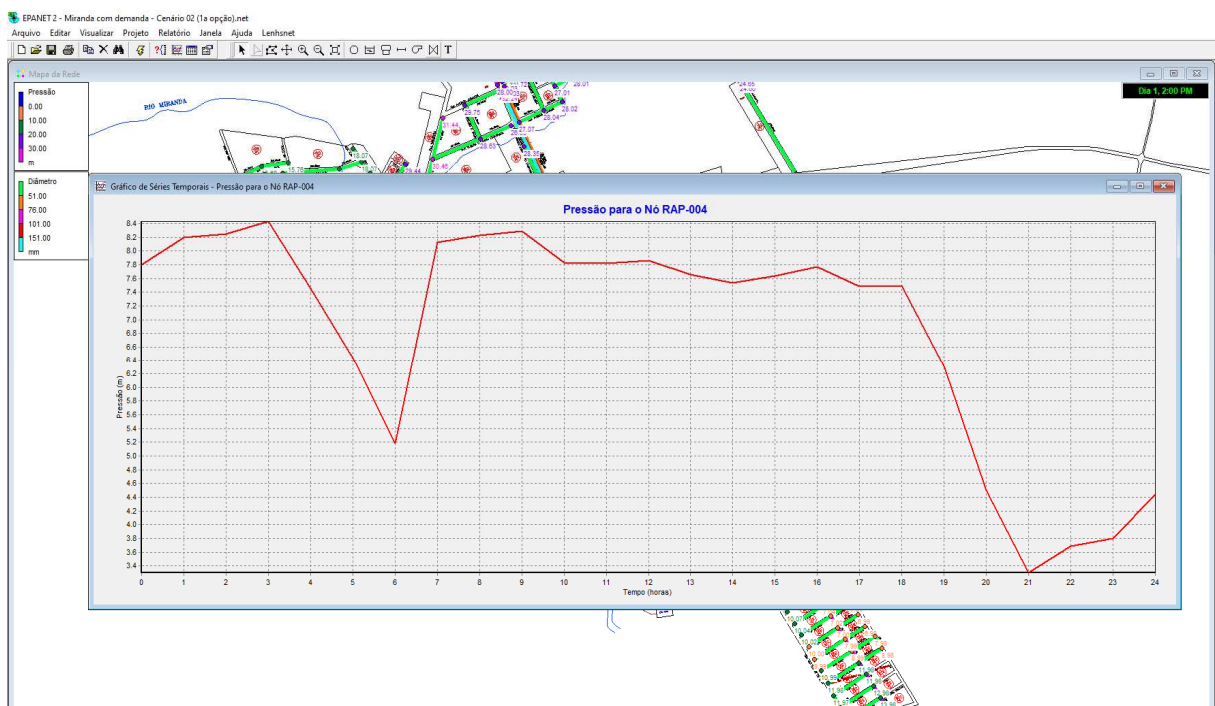
Figura 21. Horários de ponta e fora de ponta (1ª opção) – Bomba EAT-002



Fonte: autor, 2024.

Após análise da simulação no Epanet, verificou-se que o reservatório RAP-004 é capaz de operar durante 18 horas por dia (HFP) e, mesmo sem funcionamento nas horas de ponta (HP) das 18hs às 21hs e 03hs às 06hs da bomba EAT-002, o sistema consegue abastecer a cidade de Miranda/MS. Portanto, não há necessidade de substituir essa bomba, conforme na Figura 22 da simulação.

Figura 22. Gráfico (pressão x tempo) – Reservatório RAP-004 (1ª opção - proposto)



Fonte: autor, 2024.

- Sistema proposto (Bomba EAT-002) - 2ª opção

Na operação sem o desligamento no HP do sistema proposto (bomba EAT-002), a potência do motor da bomba é de 35 CV, com um aumento de rendimento para 76% (é necessário substituir a bomba). O consumo durante o HFP é de 21 horas por dia, enquanto durante o HP é de 3 horas por dia. Foi realizada uma pesquisa do consumo de energia, revelando que durante o HP é de 2.133,92 kWh, representando 8,75% do total, enquanto no HFP é de 22.253,71 kWh, equivalente a 91,25% do consumo elétrico no período. A demanda utilizada pela estação elevatória totalizou 33 kW, tanto no horário de ponta quanto fora dele. O valor total estimado, incluindo impostos, para o horário azul é de R\$ 18.651,80, enquanto para o horário verde é de R\$ 20.179,81 (Tabela 28).

Tabela 28. Valores de consumo e demanda nos HFP= 21 horas e HP= 3 horas (Sistema proposto – 2ª opção – BOMBA EAT-002).

Bomba EAT-002 – Sistema Proposto (2ª opção) – HFP= 21 horas / HP= 3 horas				
Dias no período	30	Melhor Opção Tarifária		
Sábados/Domingos/Feriados	9			
Custo Mensal Estimado		HORÁRIA AZUL		
Tarifa Azul	Tarifa Verde	R\$ 18.651,80		
R\$ 18.651,80	R\$ 20.179,81	R\$ 18.651,80		
Desligamento na Ponta				
Potência do motor	Rendimento	Demanda Calculada		
35 CV	76%	33,87 kW		
Horário fora de ponta	Demanda Contratada	33 kW		
	Consumo (21h/dia)	22.253,71 kWh		
Horário de ponta	Demanda Contratada	33 kW		
	Consumo (3h/dia)	2.133,92 kWh		
Horária Azul				
Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Sub Total
Energia Ativa				
Demanda F.Pta (kW)	33,87	33,00	33,4000	R\$ 1.102,20
Demanda Pta (kW)	33,87	33,87	65,6900	R\$ 2.225,03
Consumo F.Pta (kWh)	22.253,71	22.253,71	0,437230	R\$ 9.729,99
Consumo Pta (kWh)	2.133,92	2.133,92	0,604400	R\$ 1.289,74
TOTAL FORNECIMENTO			R\$	14.346,96
Impostos		ICMS	17,00%	R\$ 3.170,81
(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450%	R\$ 202,28
		COFINS	4,99550%	R\$ 931,75
Valor estimado com impostos*				R\$ 18.651,80
Horária Verde				
Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Sub Total
Energia Ativa				
Demanda (kW)	33,87 kW	33	33,4	R\$ 1.102,20
Consumo F.Pta (kWh)	22.253,71	22.253,71	0,43723	R\$ 9.729,99
Consumo Pta (kWh)	2.133,92	2.133,92	2,19789	R\$ 4.690,12
Bandeira Verde	24.387,63	24.387,63		R\$ 0,00
TOTAL FORNECIMENTO			R\$	15.522,31
Impostos		ICMS	17,00%	R\$ 3.430,57
(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450%	R\$ 218,85
		COFINS	4,99550%	R\$ 1.008,08
Valor estimado com impostos				R\$ 20.179,81

Fonte: autor, 2024.

Foi realizada uma simulação no Epanet para a cidade de Miranda/MS, referente à bomba EAT-002, com potência de 35 CV, e há necessidade de troca da bomba. O consumo durante o Horário Fora de Ponta (HFP) é de 21 horas, enquanto no Horário de Ponta (HP) é de 3 horas, conforme ilustrado na Figura 23 e Figura 24 da simulação.

Figura 23. Simulação do Epanet (2ª opção - proposto) – Bomba EAT-002

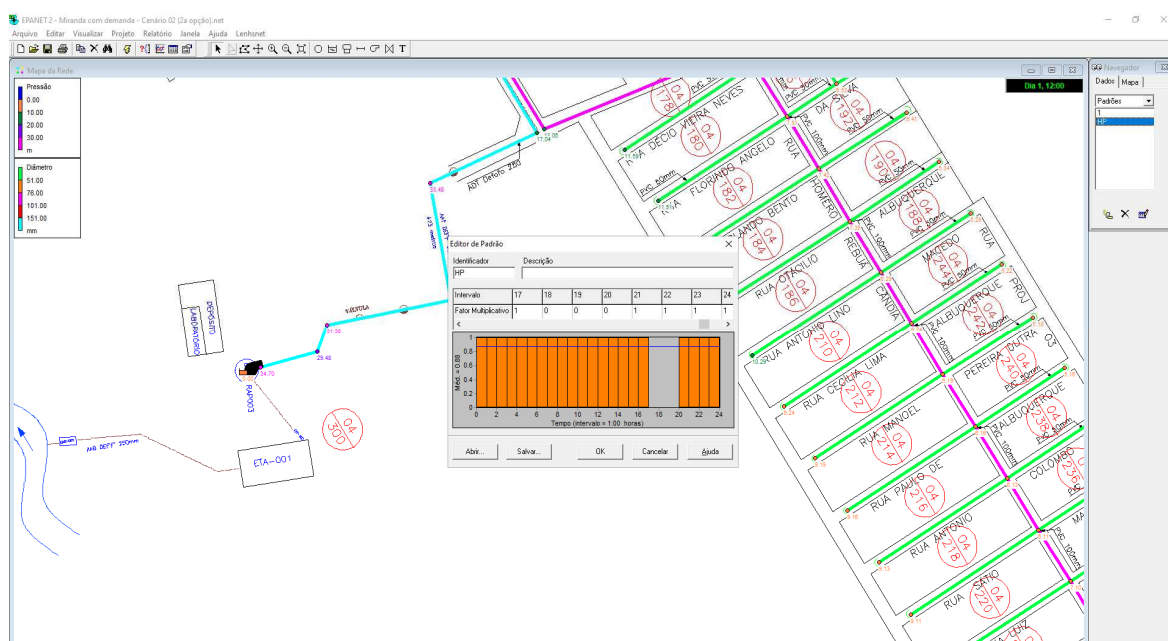
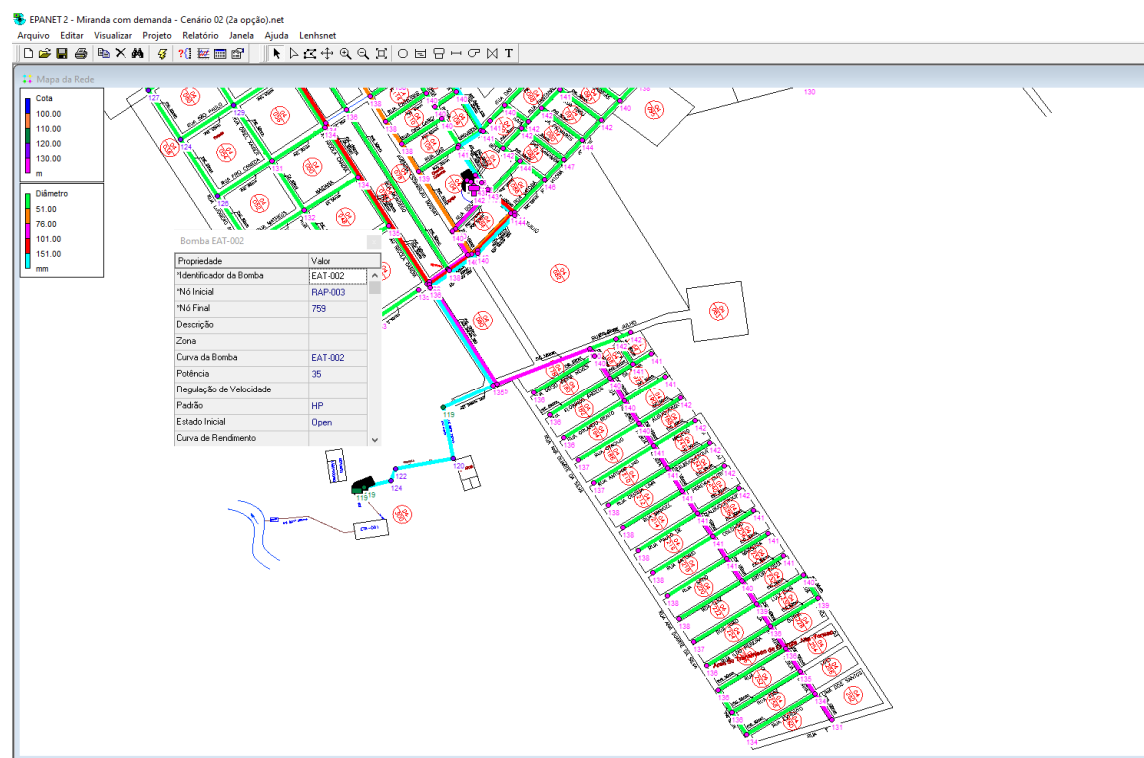
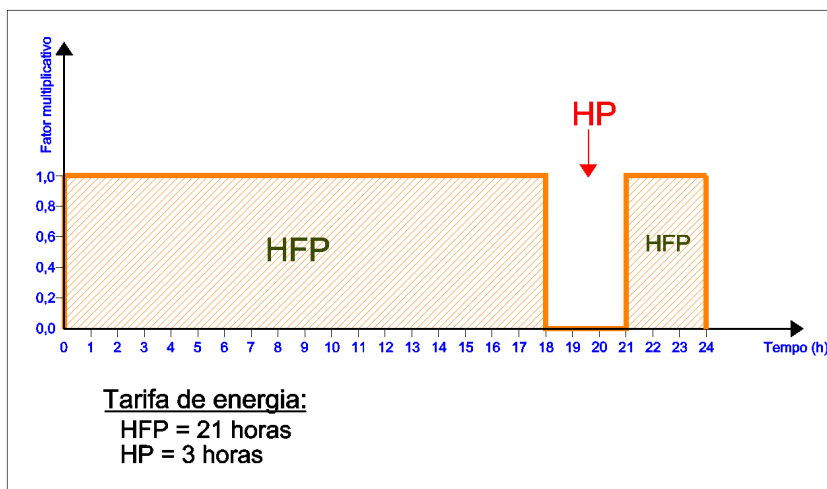


Figura 24. Horários de ponta e fora de ponta (2ª opção) – Bomba EAT-002



Fonte: autor, 2024.

Após análise da simulação no Epanet, verificou-se que o reservatório RAP-004 é capaz de operar durante 21 horas por dia (HFP) e, mesmo sem funcionamento da bomba EAT-002 durante as horas de ponta (HP), das 18hs às 21hs, o sistema consegue abastecer a cidade de Miranda/MS. Dessa forma, identificou-se a necessidade de substituição dessa bomba, conforme ilustrado na Figura 25 da simulação.

Figura 25. Gráfico (pressão x tempo) – Reservatório RAP-004 (2ª opção - proposto)



Fonte: autor, 2024.

A Tabela 29 apresenta os valores consumidos da bomba EAT-002 nos HFP, HP e demanda contratada.

Tabela 29. Valores de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta.

Bomba EAT-002				
SISTEMA	CONSUMO		DEMANDA CONTRATADA	
	FORA DE PONTA (kWh)	PONTA (kWh)	FORA DE PONTA (kW)	PONTA (kW)
Sistema atual	23.168,25	2.574,25	49	49
Sistema proposto (1ª opção)	26.478,00	0,00	49	0
Sistema proposto (2ª opção)	22.253,71	2.133,92	33	33

Fonte: autor, 2024.

Para o cálculo do custo de energia elétrica, foi realizada uma análise entre as tarifas de energia Horária Azul e Horária Verde, utilizando os valores de consumo elétrico durante o mês. Após a análise dos custos para elevatória, foi realizada a comparação entre o custo com o sistema tarifário em vigor, com as tarifas Horárias Azul e Verde. Os resultados são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30. Custo mensal e verificação da redução de energia elétrica.

Bomba EAT-002				
SISTEMA	FATURA		REDUÇÃO DO CUSTO	
	AZUL (R\$)	VERDE (R\$)	AZUL (%)	VERDE (%)
Sistema atual	R\$ 21.504,34	R\$ 22.652,59	48,70%	51,30%
Sistema proposto (1ª opção)	R\$ 17.178,34	R\$ 17.178,34	50,00%	50,00%
Sistema proposto (2ª opção)	R\$ 18.651,80	R\$ 20.179,81	48,03%	51,97%

Fonte: autor, 2024.

A redução dos custos para o sistema atual foi de 48,70% ao usar a tarifa azul e de 51,30% ao utilizar a tarifa verde, resultando em R\$ 21.504,34 e R\$ 22.652,59, respectivamente. Para o sistema proposto da 1ª opção, a redução foi de 50,00% com a tarifa azul e de 50,00% com a tarifa verde, totalizando R\$ 17.178,34 e R\$ 17.178,34, respectivamente. Já para o sistema proposto da 2ª opção, a redução foi de 48,03% utilizando a tarifa azul e de 51,97% utilizando a tarifa verde, resultando em R\$ 18.651,80 e R\$ 20.179,81, respectivamente.

Verificou-se o custo e a redução de energia elétrica, e a melhor opção é o sistema proposto na 1ª opção. O consumo durante o HFP é de 18 horas por dia, e não há horário de ponta. Não é necessário trocar a bomba, cuja potência é de 50 CV, com rendimento para 75%.

Nota-se que a busca pela redução desses custos impacta diretamente na qualidade dos serviços prestados pela concessionária, pois os custos operacionais servem de base para determinar o valor da tarifa a ser paga pelos consumidores.

✓ **BOMBA EAT-003**

• Sistema atual (Bomba EAT-003)

A bomba EAT-003 do sistema atual tem uma potência do motor de 4,5 CV, com um rendimento de 68%. O consumo de energia foi de 3.504,44 kWh, e o valor total estimado, incluindo impostos, para o convencional (Baixa Tensão) é de R\$ 4.011,38. Os resultados são apresentados na Tabela 31. O consumidor em baixa tensão considera apenas o consumo, sem distinção entre HP e HFP.

Tabela 31. Bomba EAT-003 – Sistema atual.

Bomba EAT-003 - Sistema Atual				
Dias no período		30		Melhor Opção Tarifária
Sábados/Domingos/Feriados		9		
Custo Mensal Estimado				CONVENCIONAL
Tarifa Azul		Tarifa Verde		
R\$ 0,00		R\$ 0,00		R\$ 4.011,38
Potência do motor	Rendimento		Demanda Calculada	
4,5 CV	68%		4,87 kW	
	Descrição	Faturado	Tarifa sem imposto	Total com imposto
	Consumo (kWh)	3.504,44	0,88047	R\$ 4.011,38

Fonte: autor, 2024.

- Sistema proposto (Bomba EAT-003 sem instalação de inversor de frequência) - 1ª opção

Na proposta do sistema com a bomba EAT-003 (sem inversor), com redução da potência do motor para 3,5 CV, com um aumento no rendimento para 72%. O valor total estimado, incluindo impostos, para o convencional é de R\$ 2.946,63. Os resultados são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32. Bomba EAT-003 - Sistema proposto (1ª opção) - sem inversor de frequência.

Bomba EAT-003 - Sistema Proposto (1ª opção) - sem inversor				
Dias no período	30	Melhor Opção Tarifária		
Sábados/Domingos/Feriados	9			
Custo Mensal Estimado		CONVENCIONAL R\$ 2.946,63		
Tarifa Azul	Tarifa Verde			
R\$ 0,00	R\$ 0,00			
Potência do motor	Rendimento	Demanda Calculada		
3,5 CV	72%	3,58 kW		
	Descrição	Faturado	Tarifa sem imposto	Total com imposto
	Consumo (kWh)	2574,25	0,88047	R\$ 2.946,63

Fonte: autor, 2024.

- Sistema proposto (Bomba EAT-003 com instalação de inversor de frequência) - 2ª opção

Foi realizada uma avaliação da instalação de um inversor de frequência na bomba EAT-003 do sistema padrão. Essa tecnologia possibilita o ajuste da velocidade das bombas conforme a demanda, resultando em economia de energia. Um estudo foi conduzido para quantificar a redução no consumo de energia elétrica com a implementação do inversor.

Na proposta do sistema com a bomba EAT-003 (com inversor de frequência reduzindo em 50% o consumo), a potência do motor é reduzida para 3,5 CV, com um aumento no rendimento para 72%. O valor total estimado, incluindo impostos, para o convencional é de R\$ 1.473,32. Os resultados são apresentados na Tabela 33.

Alguns autores (BRAGHIROLI *et al.*, 2011) propuseram algumas medidas para controlar e reduzir os custos operacionais. Entre elas, foi sugerida a instalação de um inversor de frequência e três *soft-starters* para o abastecimento da zona alta, configurados

para operar com a pressão da adutora, e não mais pelo nível da torre. Essas medidas foram implementadas na Estação Elevatória de Água de Santana. Como resultado, o gasto médio mensal com energia elétrica foi reduzido de R\$ 56.600,00 para R\$ 28.000,00, e o retorno do investimento ocorreu após quatro meses de operação do sistema implementado, representando uma economia de 50%. Diante do estudo apresentado, considerou-se uma redução de 50% no consumo de energia.

Tabela 33. Bomba EAT-003 – Sistema proposto (2ª opção) – com inversor de frequência reduzindo a 50%.

Bomba EAT-003 - Sistema Proposto (2ª opção) - com inversor de frequência reduzindo a 50%				
Dias no período	30	Melhor Opção Tarifária		
Sábados/Domingos/Feriados	9			
Custo Mensal Estimado		CONVENCIONAL R\$ 1.473,32		
Tarifa Azul	Tarifa Verde			
R\$ 0,00	R\$ 0,00			
Potência do motor	Rendimento	Demanda Calculada		
3,5 CV	72%	3,58 kW		
	Descrição	Faturado	Tarifa	Total
	Consumo (kWh)	1287,125	0,88047	R\$ 1.473,32

Fonte: autor, 2024.

O resultado da economia de energia com a instalação da frequência na bomba EAT-003 foi de R\$ 1.473,32, resultando em uma redução significativa no consumo de energia elétrica.

Para a redução da potência com o inversor, é necessário garantir que a potência final seja suficiente para atingir a pressão mínima permitida na rede. Portanto, nem sempre será possível determinar qual será a redução na prática.

Verificou-se o custo e a redução de energia elétrica, e a melhor opção é o sistema proposto na 2ª opção (Bomba EAT-003 com instalação de inversor de frequência). A tarifa convencional é menor, resultando em R\$ 1.473,32.

5.4.3 Análise de investimento e *payback* – Diagnóstico energético (1ª SITUAÇÃO)

- *Payback* simples (diagnóstico energético) – 1ª situação

Foi realizada uma análise de investimentos, utilizando o método do *payback* simples (diagnóstico energético), para calcular quanto tempo levará para os fluxos de caixa gerados pelo projeto igualarem o investimento inicial. O cálculo dos investimentos das duas bombas e de um inversor de frequência resulta em um valor total de R\$ 49.000,00, conforme indicado na Tabela 34.

Tabela 34. Cálculo de investimentos (Cenário 02) – 1ª situação.

BOMBA - EAT-002 (Substituição) - ÁGUA TRATADA		
Variável	Unid	Valor
n_bombas	unidade	2
Potência	cv	35
Custo Unitário	R\$/bomba	R\$ 21.000,00
Custo da Bomba	R\$	R\$ 42.000,00
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 42.000,00

BOMBA - EAT-003 (Substituição) - ÁGUA TRATADA		
Variável	Unid	Valor
n_bombas	unidade	1
Potência	cv	3,5
Custo Unitário	R\$/bomba	R\$ 5.000,00
Custo da Bomba	R\$	R\$ 5.000,00
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 5.000,00

Inversor de frequência		
Variável	Unid	Valor
n_inversor	unidade	1
Potência	cv	5,0
Custo Unitário	R\$/inversor	R\$ 2.000,00
Custo da Bomba	R\$	R\$ 2.000,00
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 2.000,00

INVESTIMENTOS		
CUSTO TOTAL (R\$)		
Bomba EAT-002	R\$	42.000,00
Bomba EAT-003	R\$	5.000,00
Inversor de frequência	R\$	2.000,00
TOTAL	R\$	49.000,00

Fonte: Autor, 2024.

Foi calculado o custo evitado (1ª situação), que avalia os benefícios de evitar ou mitigar certos custos. Esse tipo de análise é utilizado em projetos de melhoria de processos, investimentos em eficiência energética, entre outros. Isso pode incluir economias

decorrentes da redução de desperdício, aprimoramento de eficiência operacional, prevenção de falhas de equipamentos, entre outros. O cálculo do custo evitado das duas bombas e de um inversor de frequência totaliza R\$ 15.400,00 por ano, conforme mencionado na Tabela 35.

Tabela 35. Cálculo de custo evitado (Cenário 02) – 1ª situação.

Bomba EAT-002 (água tratada)			
Variável	Unidade	Quantidade (antes)	Medida Isolada (depois)
Rendimento das bombas	%	0,75	0,76
Indicador de eficiência em instalação elevatória	kWh/m ³ *100m	0,36	0,36
Altura manométrica	mca	41	41
Velocidade	m ³ /s	0,05	0,05
Horas de operação	h/d	21	21
Volume de água	m ³ /d	3780	3780
Energia usada	kWh/d	563	556
Energia evitada	kWh/d	-	7
Tarifa Elétrica (Fora de Ponta)	R\$/kWh	R\$ 0,44	R\$ 0,44
Custos Evitados	R\$/ano	-	R\$ 1.182
Custos Evitados (estimativa)	R\$/ano	-	1.190,00

Bomba EAT-003 (água tratada)			
Variável	Unidade	Quantidade (antes)	Medida Isolada (depois)
Rendimento das bombas	%	0,68	0,72
Indicador de eficiência em instalação elevatória	kWh/m ³ *100m	0,40	0,38
Altura manométrica	mca	23,5	23,5
Velocidade	m ³ /s	0,05	0,05
Horas de operação	h/d	21	21
Volume de água	m ³ /d	3780	3780
Energia usada	kWh/d	356	336
Energia evitada	kWh/d	-	20
Tarifa Elétrica (Fora de Ponta)	R\$/kWh	R\$ 0,44	R\$ 0,44
Custos Evitados	R\$/ano	-	R\$ 3.156
Custos Evitados (estimativa)	R\$/ano	-	3.160,00

Inversor de frequência			
Variável	Unidade	Quantidade (antes)	Medida Isolada (depois)
Energia usada	kWh/mês	3504,44	2459,25
Energia evitada	kWh/mês	-	1045
Tarifa Elétrica	R\$/kWh	0,88047	0,88047
Custos Evitados	R\$/ano	-	R\$ 11.043
Custos Evitados (estimativa)	R\$/ano	-	11.050,00

CUSTO EVITADO	
CUSTO TOTAL (R\$/ano)	
Bomba EAT-002	1190,00
Bomba EAT-003	3160,00
Inversor de frequência	11050,00
TOTAL	R\$ 15.400,00

Fonte: Autor, 2024.

Os resultados mostram o cálculo do *payback* simples (Tabela 36), com o período de retorno estimado em 3 anos.

Tabela 36. Cálculo de *payback* simples (Cenário 02) – 1ª situação.

Descrição	Custos Evitados	Investimentos	Payback
Bombas (EAT-002 e EAT-003) e inversor de frequência	R\$ 15.400,00	R\$ 49.000,00	3 anos

Fonte: Autor, 2024.

- Payback descontado – 1ª situação

O *payback* descontado, através do diagnóstico energético, determinou que o tempo de retorno do investimento inicial é de R\$ 49.000,00, considerando o Valor Presente de cada Fluxo de Caixa Futuro descontado pela taxa de desconto de 10%. O Valor Presente Líquido total do projeto é de R\$ 136.268,11 (VPL positivo), com uma Taxa Interna de Retorno de 39% (maior que a taxa de atratividade). O tempo de *payback* adicional é de mais 3 anos (3,57 anos) e lucratividade de 3,78. Foi avaliado que o projeto é viável, conforme indicado na Tabela 37.

Tabela 37. Cálculo de *payback* descontado – Período de 15 anos (Cenário 02) – 1ª situação.

Investimento Inicial	R\$ 49.000,00		
Taxa de Desconto	10,00%		
Período (Ano)	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$ 49.000,00	-R\$ 49.000,00	-R\$ 49.000,00
1	R\$ 15.400,00	R\$ 14.000,00	-R\$ 35.000,00
2	R\$ 16.632,00	R\$ 13.745,45	-R\$ 21.254,55
3	R\$ 17.962,56	R\$ 13.495,54	-R\$ 7.759,01
4	R\$ 19.399,56	R\$ 13.250,16	R\$ 5.491,16
5	R\$ 20.951,53	R\$ 13.009,25	R\$ 18.500,41
6	R\$ 22.627,65	R\$ 12.772,72	R\$ 31.273,13
7	R\$ 24.437,86	R\$ 12.540,49	R\$ 43.813,62
8	R\$ 26.392,89	R\$ 12.312,48	R\$ 56.126,10
9	R\$ 28.504,33	R\$ 12.088,62	R\$ 68.214,71
10	R\$ 30.784,67	R\$ 11.868,82	R\$ 80.083,54
11	R\$ 33.247,44	R\$ 11.653,03	R\$ 91.736,56
12	R\$ 35.907,24	R\$ 11.441,15	R\$ 103.177,72
13	R\$ 38.779,82	R\$ 11.233,13	R\$ 114.410,85
14	R\$ 41.882,21	R\$ 11.028,89	R\$ 125.439,74
15	R\$ 45.232,78	R\$ 10.828,37	R\$ 136.268,11

Soma VPs (Ano 1 a 15)	R\$ 185.268,11
VPL do Projeto	R\$ 136.268,11
Taxa Interna de Retorno (TIR)	39%
Taxa de Lucratividade	3,78
Tempo de Payback (ano)	3,57
Resultado (projeto viável ou projeto inviável)	projeto viável

Fonte: Autor, 2024.

Alguns autores (ANEEL, 2019) consideram que a vida útil da bomba pode chegar a até 20 anos, desde que seja realizada a manutenção adequada. Nesse caso, a viabilidade será ainda melhor, como pode ser visto na Tabela 38.

Tabela 38. Cálculo de *payback* descontado – Período de 20 anos (Cenário 02).

Soma VPs (Ano 1 a 20)	R\$ 236.527,38
VPL do Projeto	R\$ 187.527,38
Taxa Interna de Retorno (TIR)	39%
Taxa de Lucratividade	4,83
Tempo de Payback (ano)	3,57
Resultado (projeto viável ou projeto inviável)	projeto viável

Fonte: Autor, 2024.

5.4.4 Análise de investimento e *payback* – Diagnóstico energético (2ª SITUAÇÃO)

- *Payback* simples (diagnóstico energético) – 2ª situação

Foi realizada uma análise de investimentos, utilizando o método do *payback* simples (2ª situação), para determinar o tempo necessário para que os fluxos de caixa gerados pelo projeto igualarem o investimento inicial. O cálculo dos investimentos para uma bomba e um inversor de frequência resultou em um valor total de R\$ 7.000,00, conforme indicado na Tabela 39.

Tabela 39. Cálculo de investimentos (Cenário 02) – 2ª situação

BOMBA - EAT-003 (Substituição) - ÁGUA TRATADA		
Variável	Unid	Valor
n_bombas	unidade	1
Potência	cv	3,5
Custo Unitário	R\$/bomba	R\$ 5.000,00
Custo da Bomba	R\$	R\$ 5.000,00
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 5.000,00

Inversor de frequência		
Variável	Unid	Valor
n_inversor	unidade	1
Potência	cv	5,0
Custo Unitário	R\$/inversor	R\$ 2.000,00
Custo da Bomba	R\$	R\$ 2.000,00
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 2.000,00

INVESTIMENTOS		
BOMBAS E INVERSOR DE FREQUÊNCIA		
CUSTO TOTAL	R\$	7.000,00

Fonte: Autor, 2024.

Foi calculado o custo evitado (2ª situação), que se refere aos benefícios gerados pela mitigação ou eliminação de determinados custos. Esse tipo de análise é amplamente utilizado em projetos voltados para a melhoria de processos, investimentos em eficiência energética e outras iniciativas. Isso pode incluir economias relacionadas à redução de desperdícios, aumento da eficiência operacional, prevenção de falhas em equipamentos, entre outros. O custo evitado associado a uma bomba e a um inversor de frequência foi estimado em R\$ 14.210,00 por ano, conforme apresentado na Tabela 40.

Tabela 40. Cálculo de custo evitado (Cenário 02) – 2ª situação

Bomba EAT-003 (água tratada)			
Variável	Unidade	Quantidade (antes)	Medida Isolada (depois)
Rendimento das bombas	%	0,68	0,72
Indicador de eficiência em instalação elevatória	kWh/m ³ *100m	0,40	0,38
Altura manométrica	mca	23,5	23,5
Velocidade	m ³ /s	0,05	0,05
Horas de operação	h/d	21	21
Volume de água	m ³ /d	3780	3780
Energia usada	kWh/d	356	336
Energia evitada	kWh/d	-	20
Tarifa Elétrica (Fora de Ponta)	R\$/kWh	R\$ 0,44	R\$ 0,44
Custos Evitados	R\$/ano	-	R\$ 3.156
Custos Evitados (estimativa)	R\$/ano	-	3.160,00

Inversor de frequência			
Variável	Unidade	Quantidade (antes)	Medida Isolada (depois)
Energia usada	kWh/mês	3504,44	2459,25
Energia evitada	kWh/mês		1045
Tarifa Elétrica	R\$/kWh	0,88047	0,88047
Custos Evitados	R\$/ano	-	R\$ 11.043
Custos Evitados (estimativa)	R\$/ano	-	11.050,00

CUSTO EVITADO	
CUSTO TOTAL (R\$/ano)	
Bomba EAT-003	3160,00
Inversor de frequência	11050,00
TOTAL	R\$ 14.210,00

Fonte: Autor, 2024.

Os resultados mostram o cálculo do *payback* simples (Tabela 41), com o período de retorno estimado em 1 ano.

Tabela 41. Cálculo de *payback* simples (Cenário 02) – 2ª situação.

Descrição	Custos Evitados	Investimentos	Payback
Bombas (EAT-003) e inversor de frequência	R\$ 14.210,00	R\$ 7.000,00	1 ano

Fonte: Autor, 2024.

- Payback descontado – 2ª situação

A análise de *payback* descontado, indicou que o tempo de retorno do investimento inicial, no valor de R\$ 7.000,00, foi calculado com base no Valor Presente de cada Fluxo de Caixa Futuro, descontado pela taxa de 10%. O Valor Presente Líquido (VPL) total do projeto é de R\$ 163.951,94, sendo positivo, e a Taxa Interna de Retorno (TIR) é de 211%, (superior à taxa de atratividade). O tempo de *payback* adicional foi estimado em menos de 1 ano, com uma lucratividade de 24,42. Esses resultados demonstram que o projeto é viável, conforme apresentado na Tabela 42.

Tabela 42. Cálculo de *payback* descontado – Período de 15 anos (Cenário 02) – 2ª situação.

Investimento Inicial	R\$ 7.000,00
Taxa de Desconto	10,00%

Período (Ano)	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$ 7.000,00	-R\$ 7.000,00	-R\$ 7.000,00
1	R\$ 14.210,00	R\$ 12.918,18	R\$ 5.918,18
2	R\$ 15.346,80	R\$ 12.683,31	R\$ 18.601,49
3	R\$ 16.574,54	R\$ 12.452,70	R\$ 31.054,19
4	R\$ 17.900,51	R\$ 12.226,29	R\$ 43.280,48
5	R\$ 19.332,55	R\$ 12.003,99	R\$ 55.284,47
6	R\$ 20.879,15	R\$ 11.785,74	R\$ 67.070,20
7	R\$ 22.549,48	R\$ 11.571,45	R\$ 78.641,65
8	R\$ 24.353,44	R\$ 11.361,06	R\$ 90.002,72
9	R\$ 26.301,72	R\$ 11.154,50	R\$ 101.157,21
10	R\$ 28.405,86	R\$ 10.951,69	R\$ 112.108,90
11	R\$ 30.678,32	R\$ 10.752,57	R\$ 122.861,46
12	R\$ 33.132,59	R\$ 10.557,06	R\$ 133.418,53
13	R\$ 35.783,20	R\$ 10.365,12	R\$ 143.783,65
14	R\$ 38.645,85	R\$ 10.176,66	R\$ 153.960,31
15	R\$ 41.737,52	R\$ 9.991,63	R\$ 163.951,94

Soma VPs (Ano 1 a 15)	R\$ 170.951,94
VPL do Projeto	R\$ 163.951,94
Taxa Interna de Retorno (TIR)	211%
Taxa de Lucratividade	24,42
Tempo de Payback (ano)	-1,00
Resultado (projeto viável ou projeto inviável)	projeto viável

De acordo com alguns autores (ANEEL, 2019), a vida útil de uma bomba pode alcançar até 20 anos, desde que sejam realizadas as manutenções adequadas. Nesse cenário, a viabilidade do projeto se torna ainda mais favorável, conforme ilustrado na Tabela 43.

Tabela 43. Cálculo de *payback* descontado – Período de 20 anos (Cenário 02) – 2ª situação.

Soma VPs (Ano 1 a 20)	R\$ 218.250,27
VPL do Projeto	R\$ 211.250,27
Taxa Interna de Retorno (TIR)	211%
Taxa de Lucratividade	31,18
Tempo de Payback (ano)	-1,00
Resultado (projeto viável ou projeto inviável)	projeto viável

Fonte: Autor, 2024.

5.5 Cenário 03: Eficiência energética e melhoria operacional dos sistemas de água de Miranda/MS

Como já mencionado a eficiência energética e a melhoria operacional dos sistemas de água em Miranda/MS são questões primordiais para garantir o fornecimento sustentável de água potável para a população, além de reduzir os custos operacionais.

Com esta premissa, é importante considerar medidas para aumentar a eficiência energética nos sistemas de água. Isso pode incluir a utilização de tecnologias mais avançadas, como bombas de água de alta eficiência e sistemas de controle automatizado para otimizar o consumo de energia. Além disso, a implementação de programas de monitoramento e manutenção preventiva pode ajudar a identificar e corrigir possíveis pontos de desperdício de energia.

Outra área importante a ser abordada é a redução de perdas de água no sistema. Os vazamentos nas tubulações e infraestrutura inadequada podem resultar em perdas significativas de água, além de exigir mais energia para bombear e tratar água adicional que não chega aos consumidores. Investir em melhorias na rede de distribuição, como a

substituição de tubulações antigas e a implantação de sistemas de detecção de vazamentos podem contribuir para uma operação mais eficiente e sustentável.

Além disso, a conscientização da população sobre o uso responsável da água também pode desempenhar um papel fundamental na melhoria operacional dos sistemas de água. As campanhas educativas podem incentivar práticas de conservação da água, como consertos de vazamentos domésticos, reutilização de água e adoção de dispositivos economizadores de água.

Por fim, é importante destacar a necessidade de políticas e investimentos governamentais que apoiem a modernização e aprimoramento dos sistemas de água em Miranda/MS. Isso pode incluir a alocação de recursos para projetos de infraestrutura, capacitação técnica de pessoal e incentivar a adoção de tecnologias mais eficientes e sustentáveis. Diante deste contexto, algumas propostas foram analisadas e serão descritas a seguir.

- Possíveis Soluções Propostas (destacadas na Figura 26):

- Substituição das Redes de Cimento Amianto por PVC: A substituição das antigas redes de cimento amianto por tubos de PVC é uma medida que visa reduzir as perdas de água e aprimorar a eficiência do sistema de distribuição;

- Instalação da Nova Adutora e Otimização do Sistema: A instalação de uma nova adutora é uma solução que busca otimizar o fluxo de água, reduzindo perdas e melhorando a distribuição de forma mais eficiente;

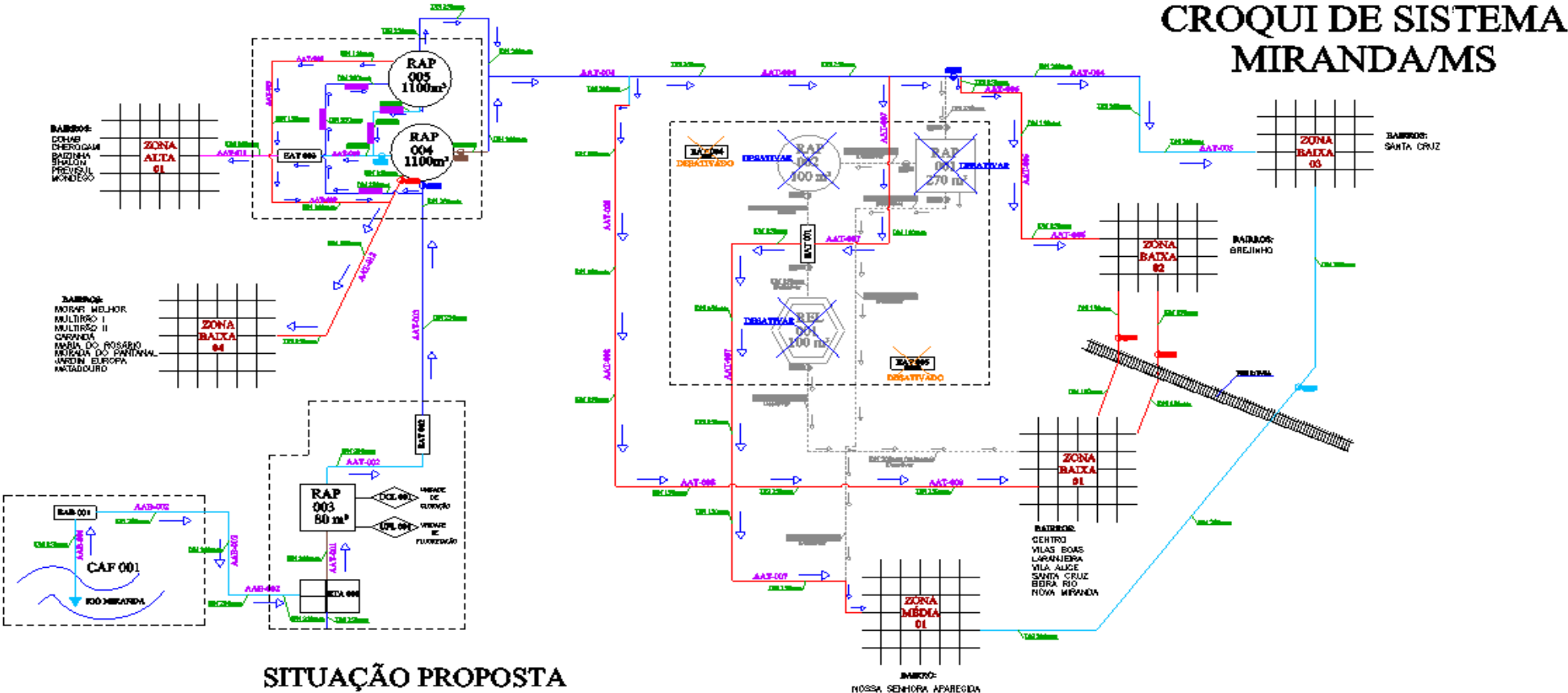
- Implantação de um Novo Reservatório (RAP-005) e desativação dos reservatórios existentes (RAP-001, RAP-002 e REL-001): A implementação de um novo reservatório com maior capacidade tem como objetivo aprimorar o gerenciamento da distribuição, reduzindo a necessidade de acionamento frequente das bombas, e desativar os três reservatórios antigos;

- Substituição ou Redimensionamento das Bombas: Avaliar a necessidade de substituir ou redimensionar as bombas é uma estratégia que visa otimizar a operação do sistema, considerando tanto a demanda atual quanto as projeções futuras de consumo de água;

- Gerenciamento de Horas de Ponta/Fora de Ponta e Eficiência Energética: Estratégias de gerenciamento de energia, como o uso das bombas durante as horas de menor demanda (HFP) e a otimização das operações durante as horas de pico (HP), podendo reduzir os custos de energia. Destaca-se nesta proposta a bomba EAT-002, responsável pelo bombeamento de água para o reservatório RAP-004, operando estrategicamente durante as horas de ponta para minimizar os custos operacionais, sem comprometer a qualidade do fornecimento de água;

- Inversor de Frequência na Bomba EAT-003: Destaca-se como uma inovação tecnológica a instalação de um inversor de frequência na bomba EAT-003, responsável pelo abastecimento da zona alta da cidade. Essa tecnologia permite um controle mais preciso da velocidade da bomba de acordo com a demanda de água em tempo real, resultando em um uso mais eficiente da energia elétrica. Além de reduzir os custos operacionais, essa medida também prolonga a vida útil dos equipamentos, minimizando o desgaste ao longo do tempo.

Figura 26. Situação proposta – Desativação dos reservatórios existentes (RAP-001, RAP-002 e REL-001), implantação do novo reservatório RAP-005 e implementação de novas estruturas.



Fonte: SANESUL – Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul.

5.5.1 Simulação com o *software* EPANET

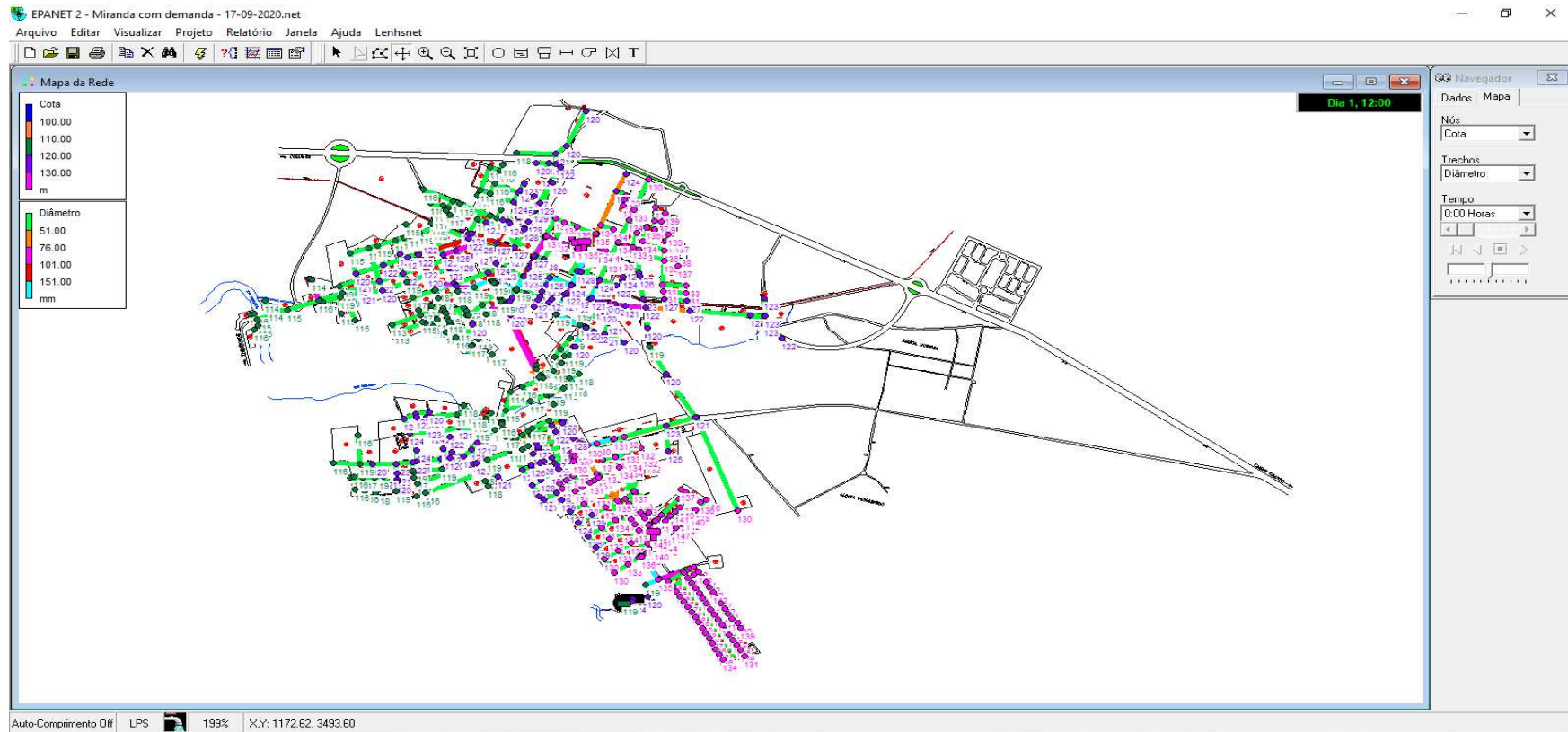
Na empresa SANESUL, utiliza-se o *software* EPANET 2.0 BRASIL para simular o comportamento hidráulico, estático e dinâmico, e a qualidade da água em sistemas de distribuição de água pressurizados, sujeitos a diversas condições operacionais, durante um determinado período de funcionamento.

Dessa forma, o *software* possibilita a resolução do conjunto de equações não lineares que caracterizam os escoamentos sob pressão em um dado instantâneo, especificamente como equações de continuidade, conservação de energia, resistência ao escoamento e a relação entre a vazão e a perda de carga. A Figura 27 representa a simulação do *software* EPANET do sistema de abastecimento de água de Miranda/MS.

Na simulação, foi realizado um diagnóstico da configuração atual do sistema, analisando o atendimento da demanda, o levantamento das instalações e as condições de operação. Desta forma, foi possível comparar as diversas configurações por meio da simulação dos cálculos de vazões e cargas piezométricas ao longo da rede, tanto para o diagnóstico do sistema existente, quanto para a avaliação de alternativas.

Realizou-se um estudo minucioso da rede de abastecimento de água por meio de modelagem hidráulica utilizando o *software* EPANET. Através desse estudo, foi possível identificar pontos de ineficiência, áreas com baixa pressão e potenciais vazamentos locais.

Figura 27: Simulação do software EPANET 2.0 BRASIL.

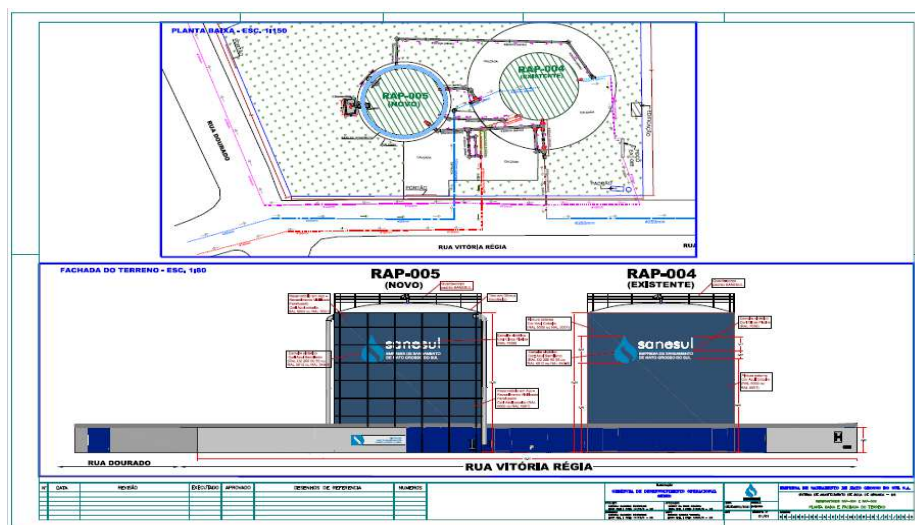
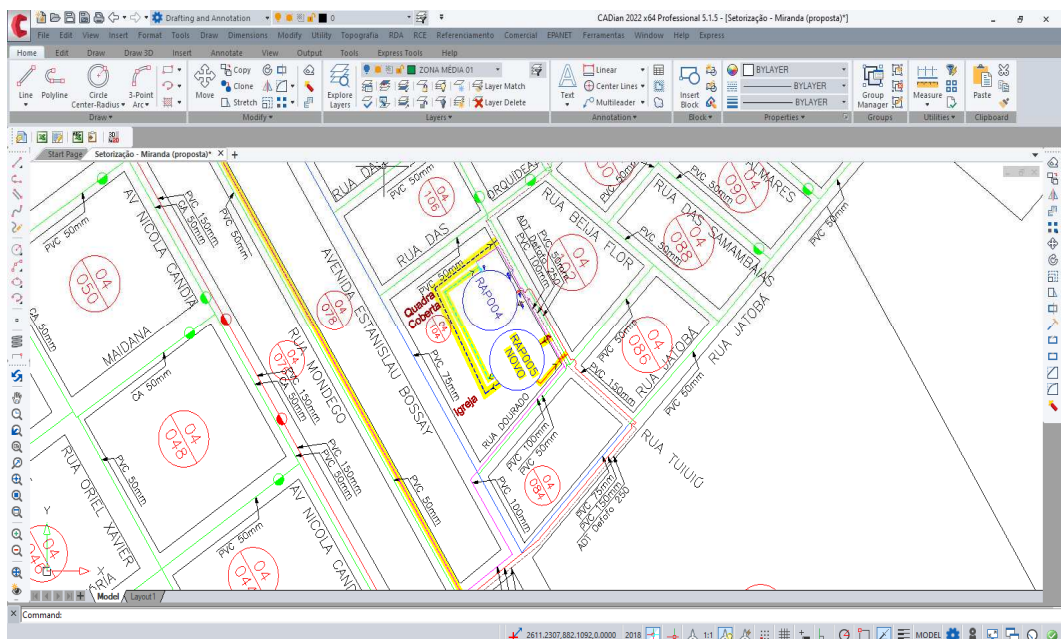


Fonte: SANESUL – Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul.

5.5.2 Elaboração do projeto de abastecimento de água

Foi elaborado um projeto detalhado de abastecimento de água, que incluiu a identificação de áreas com deficiência no fornecimento, o dimensionamento das redes de distribuição e a localização estratégica de pontos de bombeamento (Figura 28), que será descrito em detalhes. Nesta análise também foi utilizado o *software* CADIAN.

Figura 28. Projetos de abastecimento de água de Miranda/MS (plantas baixas e cortes) da SANESUL - *Software* CADIAN.



Fonte: SANESUL – Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul.

- Substituição ou remoção da adutora de água tratada: Propõe-se a substituição da adutora de água tratada por uma nova, utilizando materiais modernos e de alta durabilidade. Além disso, a proposta é realizar a instalação de registros e conexões para facilitar o controle do fluxo e a manutenção do sistema. A adutora possui aproximadamente 1.135 metros de extensão, distribuídos em diversos diâmetros, como pode ser verificado na Tabela 44.

Tabela 44. Adutoras novas.

Adutoras novas			
Diâmetro (mm)			
150	200	250	300
2,20	13,10	11,25	22,55
9,20	9,45	73,00	28,50
545,30	25,00	51,00	16,53
4,20	3,50	9,00	
67,00	4,00		
58,00	61,00		
9,05	28,00		
7,20			
3,00			
26,00			
19,00			
10,00			
3,00			
13,00			
3,00			
TOTAL	779,15	144,05	144,25
			67,58
			Total (m) 1135,03

Fonte: Autor, 2024.

- Ampliação do reservatório: Aumentar a capacidade de reserva construindo um novo reservatório. Simultaneamente, serão desativados os reservatórios existentes que possam estar obsoletos ou com problemas, garantindo a segurança e a eficiência do sistema de armazenamento (Tabela 45).

Tabela 45. Três reservatórios desativados e um reservatório novo.

Reservatório	Tipo	Material	Formato	Comprimento x Largura (m)	Diâmetro (m)	Altura útil (m)	Altura do fuste (m)	Capacidade (m³)	
RAP-001	Apoiado	Concreto	Quadrado	15,00 x 15,00	-	2,00	-	270	DESATIVAR
RAP-002	Apoiado	Concreto	Circular	-	8,00	2,00	-	100	DESATIVAR
REL-001	Elevado	Concreto	Hexágono	-	6,50	3,00	12,00	100	DESATIVAR
RAP-003	Apoiado	Concreto	Quadrado	5,40 x 5,40	-	3,40	-	80	
RAP-004	Apoiado	Metálico	Cilindro	-	13,25	8,50	-	1100	
RAP-005	Apoiado	Metálico	Cilindro	-	13,25	8,50	-	1100	NOVO

Reservatório	Tipo	Material	Formato	Capacidade (m³)
RAP-003	Apoiado	Concreto	Quadrado	80
RAP-004	Apoiado	Metálico	Cilindro	1100
RAP-005	Apoiado	Metálico	Cilindro	1100
			TOTAL	2280

Fonte: Autor, 2024.

- Substituição das estações elevatórias (bombas): As estações elevatórias de água bruta e água tratada serão atualizadas com a substituição dos conjuntos motobomba por modelos mais eficientes e modernos, incluindo a instalação de inversores de frequência para otimizar o consumo de energia e proteção a vazão às demandas do sistema.

5.5.3 Sistema de bombeamento – Melhoria operacional dos sistemas de água

Conforme descrito na “SEÇÃO 01: Determinação da situação atual” do referencial bibliográfico, foram pesquisados cálculos com base em alguns dados obtidos na SANESUL, os quais estão apresentados na Tabela 46. Todos os cálculos realizados são apresentados no Apêndice.

Tabela 46. Bombas instaladas no município de Miranda (sistema atual).

SISTEMA ATUAL						
Descrição / unidade		Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL
		Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP- 001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)	
		Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003	
Vazão média (m3/s)	Q_{ai}	0,05	0,04	0,05	0,01	
Vazão média (m3/h)	Q_{ai}	182,85	152,40	162,01	21,07	
Altura manométrica média (mca)	H_{ai}	20,00	20,00	41,00	23,50	
Potência nominal do motor (cv)	p_{ai}	30	25	50	4,5	
Carregamento	γ_{ai}	0,58	0,72	0,66	0,60	
Rendimento nominal (%)	η_{nai}	78,00	63,00	75,00	68,00	
Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{ai}	78,00	63,00	75,00	68,00	
Quantidade	q_{ai}	1,00	1,00	1,00	1,00	
Potência instalada (kW)	$P_{ai} = (p_{ai} \cdot 0,736 \cdot q_{ai}) / (\eta_{nai} / 100)$	28,31	29,21	49,07	4,87	
Potência média utilizada (kW)	$P_{uai} = P_{ai} \cdot \gamma_{ai} \cdot (\eta_{nai} / \eta_{ai})$	16,40	20,95	32,21	2,92	
Funcionamento (h/ano)	h_{ai}	652,92	398,08	528,25	703,92	
FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{ai}	1,00	0,50	1,00	1,00	
Consumo de energia produção (KWh/ano) ou Consumo de energia distribuição (KWh/ano)	$E_{ai} = (P_{uai} \cdot h_{ai})$	10704,77	8338,53	17014,39	2056,21	
Energia consumida (MWh/ano)	$E_{ai} = (P_{uai} \cdot h_{ai}) / 1000$	10,70	8,34	17,01	2,06	45,31
Demanda média na ponta (kW)	$D_{ai} = P_{uai} \cdot FCP_{ai}$	16,40	10,53	32,21	2,92	74,32

Fonte: Autor, 2024.

No sistema proposto, as quatro bombas apresentam os seguintes dados: vazão, altura manométrica, diminuição e aumento da potência do motor e aumento do rendimento nominal. Nos dados são apresentados o valor da potência atual e a nova proposta, bem como o rendimento atual e o proposto e a energia consumida atual e a consumida com as alterações, sendo eles:

- Bomba EAB-001:
 - Vazão: 182,85 m³/h
 - Altura manométrica: 20 mca
 - Potência: de 30 CV para 25 CV
 - Rendimento nominal: de 78% para 82%
 - Energia consumida: de 10.704,77 kWh/ano para 9.685,86 kWh/ano

- Bomba EAT-001:
 - Vazão: de 152,40 m³/h para 126,00 m³/h
 - Altura manométrica: de 20 mca para 15 mca
 - Potência: de 25 CV para 15 CV
 - Rendimento nominal: de 63% para 79%
 - Energia consumida: de 8.338,53 kWh/ano para 3.288,25 kWh/ano

- Bomba EAT-002:
 - Vazão: de 162,01 m³/h para 154,80 m³/h
 - Altura manométrica: 41 mca
 - Potência: de 50 CV para 35 CV
 - Rendimento nominal: de 75% para 76%
 - Energia consumida: de 17.014,39 kWh/ano para 15.832,53 kWh/ano

- Bomba EAT-003:
 - Vazão: de 21,07 m³/h para 39,60 m³/h
 - Altura manométrica: de 23,50 mca para 25 mca
 - Potência: de 4,5 para 7,5 CV
 - Rendimento nominal: de 68% para 97%
 - Energia consumida: de 2.056,21 kWh/ano para 2.020,21 kWh/ano

Conforme descrito na “SEÇÃO 02: Determinação do sistema proposto” do referencial bibliográfico, foram realizados cálculos apresentados na Tabela 47, referentes ao sistema proposto, observando ainda que todos os cálculos realizados são apresentados no apêndice.

Tabela 47. Substituição de bombas - Sistema proposto (Cenário 03).

SISTEMA PROPOSTO						
Descrição / unidade		Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL
		Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, n° 125 (REL-001/RAP-001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)	
		Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003	
Vazão média (m3/s)	Q_{pi}	0,05	0,035	0,043	0,011	
Vazão média (m3/h)	Q_{pi}	182,85	126,00	154,80	39,60	
Altura manométrica média (mca)	H_{pi}	20,00	15,00	41,00	25,00	
Potência nominal do motor (cv)	p_{pi}	25	15	35	7,5	
Carregamento	γ_{pi}	0,66	0,59	0,88	0,50	
Rendimento nominal (%)	η_{mpi}	82,00	79,00	76,00	97,00	
Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{pi}	82,00	79,00	76,00	97,00	
Quantidade	q_{pi}	1,00	1,00	1,00	1,00	
Potência instalada (kW)	$P_{pi}=(p_{pi}*0,736*q_{pi})/\eta_{mpi}$	22,44	13,97	33,89	5,69	
Potência média utilizada (kW)	$P_{upi}=P_{pi}*\gamma_{pi}*(\eta_{mpi}/\eta_{pi})$	14,83	8,26	29,97	2,87	
Funcionamento (h/ano)	h_{pi}	652,92	398,08	528,25	703,92	
FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{pi}	0,82	0,50	0,67	0,89	
Consumo de energia produção (KWh/ano) ou Consumo de energia distribuição (KWh/ano)	$E_{pi}=(P_{upi}*h_{pi})$	9685,86	3288,25	15832,53	2020,21	
Energia consumida (MWh/ano)	$E_{pi}=(P_{upi}*h_{pi})/1000$	9,69	3,29	15,83	2,02	30,83
Demanda média na ponta (kW)	$D_{pi}=P_{upi}*FCP_{pi}$	12,23	4,15	19,99	2,55	38,92

Fonte: Autor, 2024.

Os resultados dos valores de referência para a avaliação da eficiência energética das quatro bombas (sistema atual e sistema proposto) são apresentados na Tabela 48 e Tabela 49.

Tabela 48. Eficiência eletromecânica em instalações elevatórias – Sistema atual (Cenário 03).

SISTEMA ATUAL				
Descrição	Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04
	Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, n° 125 (REL-001/RAP-001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)
	Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003
Volume recalcado (média) - m³	119386,00	60667,67	85579,92	14833,17
Altura manométrica - Hmt	20,00	20,00	41,00	23,50
Energia consumida - kWh	10704,77	8338,53	17014,39	2056,21
CEN / Ph5 (kWh/m³x100m)	0,45	0,69	0,48	0,59
Eficiência energética - η (%)	60,78	39,65	56,20	46,20
Avaliação do rendimento da bomba	Operação como eficiência média	Operação ineficiente	Operação como eficiência média	Operação ineficiente

Fonte: Autor, 2024.

Na avaliação atual do sistema, verificou-se que as bombas EAT-001 e EAT-003 estão operando de forma ineficiente, enquanto as bombas EAB-001 e EAT-002 apresentam eficiência média. A bomba EAT-001 possui uma eficiência de 39,65%, e a bomba EAT-003, de 46,20%. Esses valores indicam uma qualidade de serviço insatisfatória, já que ambas as operações ineficientes estão abaixo de 50%. Por outro lado, a bomba EAB-001 opera com 60,78% de eficiência, e a bomba EAT-002, com 56,20%. Esses resultados refletem uma qualidade de serviço mediana, entre 50% e 68% de eficiência média.

Na avaliação realizada do sistema proposto, constatou-se que as bombas EAB-001 ficaram com 67,18%, EAT-002 com 60,39% e EAT-003 com 50,02%, operando, desta forma, com eficiência boa, demonstrando um aumento na eficiência energética. A bomba EAT-001 possui uma eficiência ótima de 75,41%.

Tabela 49. Eficiência eletromecânica em instalações elevatórias – Sistema proposto (Cenário 03).

SISTEMA PROPOSTO				
Descrição	Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04
	Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP-001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)
	Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003
Volume recalcado (média) - m ³	119386,00	60667,67	85579,92	14833,17
Altura manométrica - Hmt	20,00	15,00	41,00	25,00
Energia consumida - kWh	9685,86	3288,25	15832,53	2020,21
CEN / Ph5 (kWh/m ³ x100m)	0,41	0,36	0,45	0,54
Eficiência energética - η (%)	67,18	75,41	60,39	50,02
Avaliação do rendimento da bomba	Operação como eficiência média	Operação eficiente	Operação como eficiência média	Operação como eficiência média

Fonte: Autor, 2024.

A definição das metas de energia economizada (em MWh/ano) e da redução de demanda na ponta (em kW), é baseada na diferença entre o consumo de energia do sistema atual (medido) e do sistema proposto. Os resultados esperados estão apresentados na Tabela 50.

Tabela 50. Redução de demanda na ponta e energia economizada com substituição de conjunto motobomba no abastecimento de água (Cenário 03).

RESULTADOS ESPERADOS						
Descrição / unidade	Cálculo (fórmulas)	Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL
		Região Cerâmica Baiazinha (Captação) Bomba EAB-001	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP-001/RAP-002) Bomba EAT-001	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água) Bomba EAT-002	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004) Bomba EAT-003	
Redução de demanda na ponta (KW)	$RDPi = Dai - Dpi$	4,2	6,4	12,2	0,4	23,1
Redução de demanda na ponta (%)	$RDP\% = RDPi / Dai \times 100$	25,4	60,6	37,9	12,7	136,6
Energia economizada (MWh/ano)	$EEi = Eai - Epi$	1,0	5,1	1,2	0,04	7,3
Energia economizada (%)	$EE\% = EEi / Eai \times 100$	9,5	60,6	6,9	1,8	78,8

Fonte: Autor, 2024.

- Troca da rede de distribuição e reforço de rede: A rede de distribuição, atualmente composta por tubos de Cimento Amianto (CA), será substituída por tubulações de PVC e DEFOFO, materiais mais resistentes e duráveis. Será implantada uma nova rede de água para reforçar o abastecimento em algumas regiões. A rede de água possuirá aproximadamente 87 km de extensão, distribuídos em diversos diâmetros, como pode ser verificado na Tabela 51. Além disso, válvulas de acionamento elétrico poderão ser instaladas para controlar a pressão da água.

Tabela 51. Substituição e reforço de rede de distribuição.

DN (mm)	PVC / DEFOFO	REFORÇO DE REDE PVC / DEFOFO	SUBSTITUIÇÃO C.A PARA PVC / DEFOFO
	REDE EXISTENTE (m)	REDE NOVA (m)	REDE NOVA (m)
50	50628,00	72,80	8265,00
75	3822,94	83,00	0,00
100	2815,78	4067,95	3088,00
125	432,00	0,00	0,00
150	5132,52	0,00	0,00
200	4316,86	0,00	0,00
250	4287,73	0,00	0,00
TOTAL	71435,83	4223,75	11353,00
	Total de rede de distribuição (m)	87012,58	

Fonte: Autor, 2024.

A setorização da rede de água é uma técnica utilizada no planejamento e gestão de sistemas de distribuição de água. Consiste na divisão da área de abastecimento em setores menores, chamados de setores de controle ou zonas de pressão, com o objetivo de melhorar o controle operacional, a eficiência na detecção e resolução de problemas, e a qualidade do serviço prestado aos usuários.

Essa divisão em setores permite um melhor monitoramento e controle das variáveis operacionais, como pressão, vazão e qualidade da água, possibilitando uma resposta mais rápida a vazamentos, redução de perdas de água, equilíbrio de pressões em diferentes áreas e melhor planejamento de manutenções e investimentos na rede.

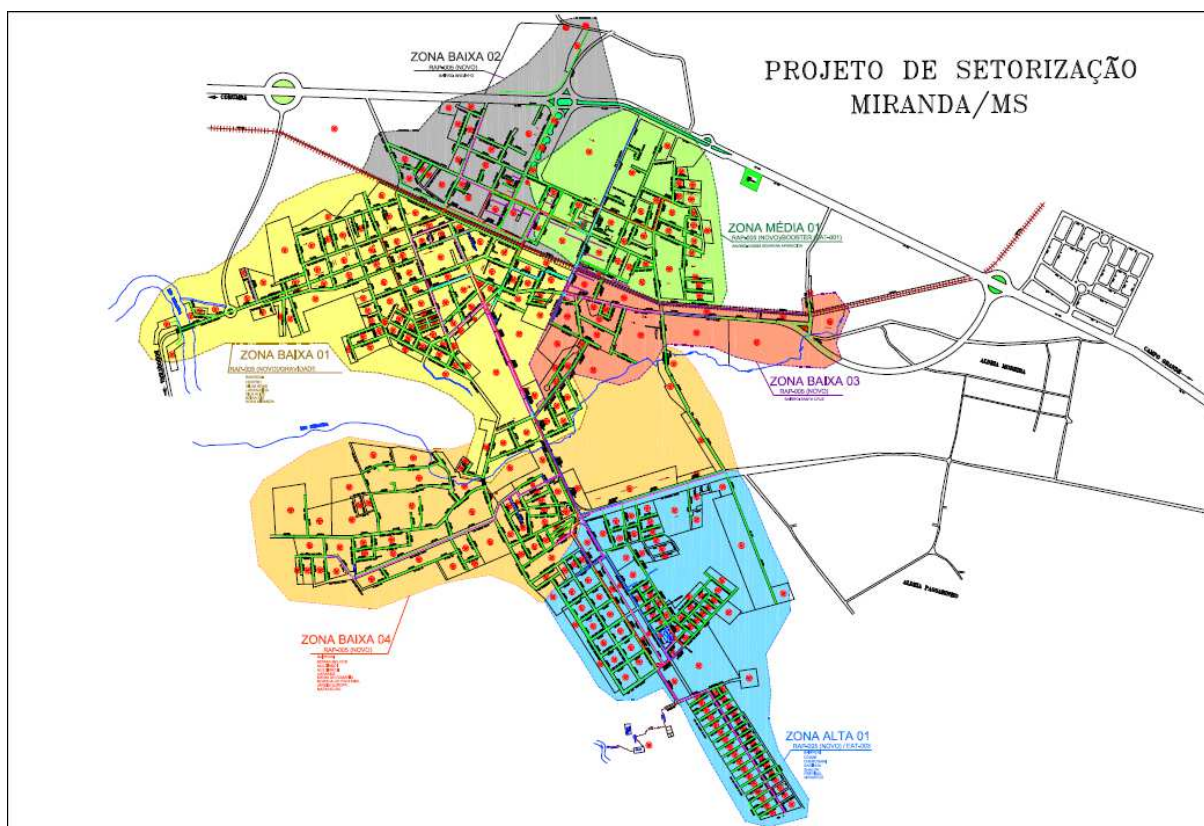
O sistema será dividido em seis setores de abastecimento isolados, nomeados como Zona Baixa 01 (amarelo), Zona Baixa 02 (cinza), Zona Baixa 03 (rosa), Zona Baixa 04 (laranja), Zona Média 01 (verde) e Zona Alta 01 (azul). A Tabela 52 e Figura 29 representam a divisão dos setores do sistema de abastecimento do município.

Tabela 52. Nomes dos bairros da cidade de Miranda/MS (setorização - sistema proposto).

Setor	Bairro	Quantidade de bairro	Reservatórios/bombas
Zona Baixa 01	Centro, Vilas Boas, Laranjeira, Vila Alice, Beira Rio e Nova Miranda	6	RAP-005/GRAVIDADE
Zona Baixa 02	Brejinho	1	RAP-005 / GRAVIDADE
Zona Baixa 03	Santa Cruz	1	RAP-005 / GRAVIDADE
Zona Baixa 04	Morar Melhor, Multirão I, Multirão II, Carandá, Maria do Rosário, Morada do Pantanal, Jardim Europa e Matadouro	8	RAP-005 / GRAVIDADE
Zona Média 01	Nossa Senhora Aparecida	1	RAP-005/BOOSTER (EAT-001)
Zona Alta 01	Cohab, Cherogami, Baizinha, Shalon, Previsul e Mondego	6	RAP-005/EAT-003
	Total	23	

Fonte: autor, 2024.

Figura 29. Setorização da cidade de Miranda/MS, obtido através do cadastro de rede (*software Cadian*) – Setorização proposta.



Fonte: Autor, 2024.

5.5.4 Análise de dados energéticos – Melhoria operacional dos sistemas de água

Um estudo foi realizado para quantificar o consumo e a demanda de energia elétrica nos HP e HFP. Uma análise dos custos foi realizada para cada estação elevatória no sistema atual e sistema proposto, considerando as tarifas de energia Horária Azul, Horária Verde e Convencional. Foi verificada a redução do consumo de energia elétrica e da demanda utilizada pelas estações elevatórias no HP. Os resultados são apresentados nas Tabela 53 e Tabela 54.

Tabela 53. Valores de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta (Sistema atual e sistema proposto) – Bomba EAB-001 e Bomba EAT-001.

Bomba EAB-001 – Sistema Atual					Bomba EAB-001 – Sistema Proposta						
Dias no período	30	Melhor Opção Tarifária			Dias no período	30	Melhor Opção Tarifária				
Sábados/Domingos/Feriados	9				Sábados/Domingos/Feriados	9					
Custo Mensal Estimado		HORÁRIA AZUL			Custo Mensal Estimado		HORÁRIA VERDE				
Tarifa Azul	R\$ 14.995,89	Tarifa Verde	R\$ 16.300,25	R\$ 14.995,89	Tarifa Azul	R\$ 10.827,67	Tarifa Verde	R\$ 10.375,96	R\$ 10.375,96		
Operação em Horário de Ponta					Desligamento na Ponta						
Potência do motor	30 CV	Rendimento	76%	Demanda Calculada	29,03 kW	Potência do motor	25 CV	Rendimento	82%	Demanda Calculada	22,42 kW
Horário fora de ponta		Demanda Contratada	32 kW			Horário fora de ponta		Demanda Contratada	30 kW		
		Consumo (18 h/dia)	16.435,52 kWh					Consumo (18 h/dia)	12.411,56 kWh		
Horário de ponta		Demanda Contratada	32 kW			Horário de ponta		Demanda Contratada	22 kW		
		Consumo (2,9 h/dia)	1.948,80 kWh					Consumo (1,5 h/dia)	706,35 kWh		
Horária Azul					Horária Azul						
Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Sub Total	Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Sub Total		
Energia Ativa					Energia Ativa						
Demanda F.Pta (kW)	32,00	32,00	33,4000	R\$ 1.068,80	Demanda F.Pta (kW)	30,00	30,00	33,4000	R\$ 1.002,00		
Demanda Pta (kW)	32,00	32,00	65,6900	R\$ 2.102,08	Demanda Pta (kW)	22,42	22,42	65,6900	R\$ 1.473,02		
Consumo F.Pta (kWh)	16.435,52	16.435,52	0,437230	R\$ 7.186,10	Consumo F.Pta (kWh)	12.411,56	12.411,56	0,437230	R\$ 5.426,71		
Consumo Pta (kWh)	1.948,80	1.948,80	0,604400	R\$ 1.177,85	Consumo Pta (kWh)	706,35	706,35	0,604400	R\$ 426,92		
TOTAL FORNECIMENTO				R\$ 11.534,84	TOTAL FORNECIMENTO				R\$ 8.328,64		
Impostos		ICMS	17,00%	R\$ 2.549,30	Impostos		ICMS	17,00%	R\$ 1.840,70		
(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450%	R\$ 162,63	(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450%	R\$ 117,43		
		COFINS	4,99550%	R\$ 749,12			COFINS	4,99550%	R\$ 540,90		
Valor estimado com impostos*				R\$ 14.995,89	Valor estimado com impostos*				R\$ 10.827,67		
Horária Verde					Horária Verde						
Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Sub Total	Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Sub Total		
Energia Ativa					Energia Ativa						
Demanda (kW)	29,03 kW	32	33,4	R\$ 1.068,80	Demanda (kW)	22,42 kW	30	33,4	R\$ 1.002,00		
Consumo F.Pta (kWh)	16.435,52	16.435,52	0,43723	R\$ 7.186,10	Consumo F.Pta (kWh)	12.411,56	12.411,56	0,43723	R\$ 5.426,71		
Consumo Pta (kWh)	1.948,80	1.948,80	2,19789	R\$ 4.283,25	Consumo Pta (kWh)	706,35	706,35	2,19789	R\$ 1.552,48		
Bandeira Verde	18384,32	18384,32	0,00000	R\$ 0,00	Bandeira Verde	13.117,91	13.117,91		R\$ 0,00		
TOTAL FORNECIMENTO				R\$ 12.538,15	TOTAL FORNECIMENTO				R\$ 7.981,19		
Impostos		ICMS	17,00%	R\$ 2.771,04	Impostos		ICMS	17,00%	R\$ 1.763,91		
(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450%	R\$ 176,78	(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450%	R\$ 112,53		
		COFINS	4,99550%	R\$ 814,28			COFINS	4,99550%	R\$ 518,33		
Valor estimado com impostos				R\$ 16.300,25	Valor estimado com impostos				R\$ 10.375,96		

Bomba EAT-001 – Sistema Atual					Bomba EAT-001 – Sistema Proposta						
Dias no período	30	Melhor Opção Tarifária			Dias no período	30	Melhor Opção Tarifária				
Sábados/Domingos/Feriados	9				Sábados/Domingos/Feriados	9					
Custo Mensal Estimado		HORÁRIA AZUL			Custo Mensal Estimado		HORÁRIA VERDE				
Tarifa Azul	R\$ 14.691,97	Tarifa Verde	R\$ 15.914,81	R\$ 14.691,97	Tarifa Azul	R\$ 7.237,66	Tarifa Verde	R\$ 6.953,37	R\$ 6.953,37		
Operação em Horário de Ponta					Desligamento na Ponta						
Potência do motor	25 CV	Rendimento	63%	Demanda Calculada	29,19 kW	Potência do motor	15 CV	Rendimento	79%	Demanda Calculada	13,97 kW
Horário fora de ponta		Demanda Contratada	30 kW			Horário fora de ponta		Demanda Contratada	30 kW		
		Consumo (18 h/dia)	16.522,48 kWh					Consumo (18 h/dia)	7.729,73 kWh		
Horário de ponta		Demanda Contratada	30 kW			Horário de ponta		Demanda Contratada	14 kW		
		Consumo (2,9 h/dia)	1.827,00 kWh					Consumo (1,5 h/dia)	439,90 kWh		
Horária Azul					Horária Azul						
Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Sub Total	Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Sub Total		
Energia Ativa					Energia Ativa						
Demanda F.Pta (kW)	30,00	30,00	33,4000	R\$ 1.002,00	Demanda F.Pta (kW)	30,00	30,00	33,4000	R\$ 1.002,00		
Demanda Pta (kW)	30,00	30,00	65,6900	R\$ 1.970,70	Demanda Pta (kW)	13,97	14,00	65,6900	R\$ 919,66		
Consumo F.Pta (kWh)	16.522,48	16.522,48	0,437230	R\$ 7.224,12	Consumo F.Pta (kWh)	7.729,73	7.729,73	0,437230	R\$ 3.379,67		
Consumo Pta (kWh)	1.827,00	1.827,00	0,604400	R\$ 1.104,24	Consumo Pta (kWh)	439,90	439,90	0,604400	R\$ 265,88		
TOTAL FORNECIMENTO				R\$ 11.301,06	TOTAL FORNECIMENTO				R\$ 5.567,21		
Impostos		ICMS	17,00%	R\$ 2.497,63	Impostos		ICMS	17,00%	R\$ 1.230,40		
(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450%	R\$ 193,33	(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450%	R\$ 78,49		
		COFINS	4,99550%	R\$ 733,94			COFINS	4,99550%	R\$ 361,56		
Valor estimado com impostos*				R\$ 14.691,97	Valor estimado com impostos*				R\$ 7.237,66		
Horária Verde					Horária Verde						
Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Sub Total	Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Sub Total		
Energia Ativa					Energia Ativa						
Demanda (kW)	29,19 kW	30	33,4	R\$ 1.002,00	Demanda (kW)	13,97 kW	30	33,4	R\$ 1.002,00		
Consumo F.Pta (kWh)	16.522,48	16.522,48	0,43723	R\$ 7.224,12	Consumo F.Pta (kWh)	7.729,73	7.729,73	0,43723	R\$ 3.379,67		
Consumo Pta (kWh)	1.827,00	1.827,00	2,19789	R\$ 4.015,55	Consumo Pta (kWh)	439,90	439,90	2,19789	R\$ 966,86		
Bandeira Verde	18349,48	18349,48	0,00000	R\$ 0,00	Bandeira Verde	8.169,64	8.169,64		R\$ 0,00		
TOTAL FORNECIMENTO				R\$ 12.241,67	TOTAL FORNECIMENTO				R\$ 5.348,53		
Impostos		ICMS	17,00%	R\$ 2.705,52	Impostos		ICMS	17,00%	R\$ 1.182,07		
(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450%	R\$ 172,60	(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450%	R\$ 75,41		
		COFINS	4,99550%	R\$ 795,02			COFINS	4,99550%	R\$ 347,36		
Valor estimado com impostos				R\$ 15.914,81	Valor estimado com impostos				R\$ 6.953,37		

Fonte: autor, 2024.

Tabela 54. Valores de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta (Sistema atual e sistema proposto) – Bomba EAT-002 e Bomba EAT-003.

Bomba EAT-002 – Sistema Atual			
Dias no período	30	Melhor Opção Tarifária	
Sábados/Domingos/Feriados	9		
Custo Mensal Estimado		HORÁRIA AZUL R\$ 21.504,34	
Tarifa Azul	R\$ 21.504,34		
Tarifa Verde	R\$ 22.652,59		
Operação em Horário de Ponta			
Potência do motor	Rendimento	Demanda Calculada	
50 CV	75%	49,03 kW	
Horário fora de ponta	Demanda Contratada	49	kW
	Consumo (15 h/dia)	23.168,25	kWh
Horário de ponta	Demanda Contratada	49	kW
	Consumo (2,5 h/dia)	2.574,25	kWh
Horária Azul			
Descrição	Medido	Faturado	Sub Total
Energia Ativa			
Demanda F.Pta (kW)	49,03	49,00	33,4000 R\$ 1.636,60
Demanda Pta (kW)	49,03	49,00	65,6900 R\$ 3.218,81
Consumo F.Pta (kWh)	23.168,25	23.168,25	0,437230 R\$ 10.129,85
Consumo Pta (kWh)	2.574,25	2.574,25	0,604400 R\$ 1.555,88
TOTAL FORNECIMENTO			R\$ 16.541,14
Impostos		ICMS	17,00% R\$ 3.655,74
(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450% R\$ 233,21
		COFINS	4,99550% R\$ 1.074,25
Valor estimado com impostos*			R\$ 21.504,34
Horária Verde			
Descrição	Medido	Faturado	Sub Total
Energia Ativa			
Demanda (kW)	49,03 kW	49	33,4 R\$ 1.636,60
Consumo F.Pta (kWh)	23.168,25	23.168,25	0,43723 R\$ 10.129,85
Consumo Pta (kWh)	2.574,25	2.574,25	2,19789 R\$ 5.657,92
Bandeira Verde	25742,50	25742,50	0,00000 R\$ 0,00
TOTAL FORNECIMENTO			R\$ 17.424,37
Impostos		ICMS	17,00% R\$ 3.850,94
(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450% R\$ 245,67
		COFINS	4,99550% R\$ 1.131,61
Valor estimado com impostos			R\$ 22.652,59

Bomba EAT-002 – Sistema Proposta			
Dias no período	30	Melhor Opção Tarifária	
Sábados/Domingos/Feriados	9		
Custo Mensal Estimado		HORÁRIA AZUL R\$ 18.651,80	
Tarifa Azul	R\$ 18.651,80		
Tarifa Verde	R\$ 20.179,81		
Desligamento na Ponta			
Potência do motor	Rendimento	Demanda Calculada	
35 CV	76%	33,87 kW	
Horário fora de ponta	Demanda Contratada	33	kW
	Consumo (21 h/dia)	22.253,71	kWh
Horário de ponta	Demanda Contratada	33	kW
	Consumo (3 h/dia)	2.133,92	kWh
Horária Azul			
Descrição	Medido	Faturado	Sub Total
Energia Ativa			
Demanda F.Pta (kW)	33,87	33,00	33,4000 R\$ 1.102,20
Demanda Pta (kW)	33,87	33,87	65,6900 R\$ 2.225,03
Consumo F.Pta (kWh)	22.253,71	22.253,71	0,437230 R\$ 9.729,99
Consumo Pta (kWh)	2.133,92	2.133,92	0,604400 R\$ 1.289,74
TOTAL FORNECIMENTO			R\$ 14.346,96
Impostos		ICMS	17,00% R\$ 3.170,81
(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450% R\$ 202,28
		COFINS	4,99550% R\$ 931,75
Valor estimado com impostos*			R\$ 18.651,80
Horária Verde			
Descrição	Medido	Faturado	Sub Total
Energia Ativa			
Demanda (kW)	33,87 kW	33	33,4 R\$ 1.102,20
Consumo F.Pta (kWh)	22.253,71	22.253,71	0,43723 R\$ 9.729,99
Consumo Pta (kWh)	2.133,92	2.133,92	2,19789 R\$ 4.690,12
Bandeira Verde	24.387,63	24.387,63	R\$ 0,00
TOTAL FORNECIMENTO			R\$ 15.522,31
Impostos		ICMS	17,00% R\$ 3.430,57
(O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)		PIS	1,08450% R\$ 218,85
		COFINS	4,99550% R\$ 1.008,08
Valor estimado com impostos			R\$ 20.179,81

Bomba EAT-003 – Sistema Atual			
Dias no período	30	Melhor Opção Tarifária	
Sábados/Domingos/Feriados	9		
Custo Mensal Estimado		CONVENCIONAL R\$ 4.011,38	
Tarifa Azul	R\$ 0,00		
Tarifa Verde	R\$ 0,00		
Operação			
Potência do motor	Rendimento	Demanda Calculada	
4,5 CV	68%	4,87 kW	
Descrição	Faturado	Tarifa	Total
Consumo (kWh)	3.504,44	0,88047	R\$ 4.011,38

Bomba EAT-003 – Sistema Proposta			
Dias no período	30	Melhor Opção Tarifária	
Sábados/Domingos/Feriados	9		
Custo Mensal Estimado		CONVENCIONAL R\$ 4.402,94	
Tarifa Azul	R\$ 0,00		
Tarifa Verde	R\$ 0,00		
Com inversor de frequência reduzindo a 50%			
Potência do motor	Rendimento	Demanda Calculada	
7,5 CV	97%	5,69 kW	
Descrição	Faturado	Tarifa	Total
Consumo (kWh)	3.846,51	0,88047	R\$ 4.402,94

Fonte: autor, 2024.

Para o cálculo do custo de energia elétrica, foi realizada uma análise entre as tarifas de energia Horária Azul, Horária Verde e Convencional, utilizando os valores de consumo elétrico durante o mês. Os resultados são apresentados na Tabela 55.

Tabela 55. Resumo dos valores de consumo, demanda contratada, faturas, tarifas e custos (sistema atual e sistema proposto).

Bomba EAB-001								
SISTEMA	CONSUMO		DEMANDA CONTRATADA (kw)	FATURA		REDUÇÃO DO CUSTO		MELHOR OPÇÃO TARIFÁRIA
	FORA DE PONTA (kWh)	PONTA (kWh)		AZUL (R\$)	VERDE (R\$)	AZUL (%)	VERDE (%)	
Sistema atual	16.435,52	1.948,80	32	R\$14.995,89	R\$16.300,25	47,92%	52,08%	Horária Azul
Sistema proposta	12.411,56	706,35	22	R\$10.827,67	R\$10.375,96	51,07%	48,93%	Horária Verde

Bomba EAT-001								
SISTEMA	CONSUMO		DEMANDA CONTRATADA (kw)	FATURA		REDUÇÃO DO CUSTO		MELHOR OPÇÃO TARIFÁRIA
	FORA DE PONTA (kWh)	PONTA (kWh)		AZUL (R\$)	VERDE (R\$)	AZUL (%)	VERDE (%)	
Sistema atual	16.522,48	1.827,00	30	R\$14.691,97	R\$15.914,81	48,00%	52,00%	Horária Azul
Sistema proposta	7.729,73	439,90	14	R\$7.237,66	R\$6.953,37	51,00%	49,00%	Horária Verde

Bomba EAT-002								
SISTEMA	CONSUMO		DEMANDA CONTRATADA (kw)	FATURA		REDUÇÃO DO CUSTO		MELHOR OPÇÃO TARIFÁRIA
	FORA DE PONTA (kWh)	PONTA (kWh)		AZUL (R\$)	VERDE (R\$)	AZUL (%)	VERDE (%)	
Sistema atual	23.168,25	2.574,25	49	R\$21.504,34	R\$22.652,59	48,70%	51,30%	Horária Azul
Sistema proposta	22.253,71	2.133,92	33	R\$18.651,80	R\$20.179,81	48,03%	51,97%	Horária Azul

Bomba EAT-003							
SISTEMA	CONSUMO		DEMANDA CONTRATADA (kw)	FATURA			MELHOR OPÇÃO TARIFÁRIA
	FORA DE PONTA (kWh)	PONTA (kWh)		AZUL (R\$)	VERDE (R\$)	CONVENCIONAL (R\$)	
Sistema atual	3.197,80	306,64	30	R\$0,00	R\$0,00	R\$4.011,38	Convencional
Sistema proposta	3.736,26	110,25	7,3	R\$0,00	R\$0,00	R\$4.402,94	Convencional

Fonte: autor, 2024.

A economia estimada com as mudanças dos sistemas tem a seguinte estimativa, para a Bomba EAB-001 de R\$ 4.619,93 de economia; para a Bomba EAT-001 de R\$ 7.738,60; para a Bomba EAT-002 de R\$ 2.852,54; para a Bomba EAT-003 de R\$ 391,56. Desta forma, a economia total com a implantação do sistema será de R\$ 15.602,63 por mês. Representando uma economia de R\$ 187.231,56 ao ano.

5.5.5 Análise de investimento e *payback* – Melhoria operacional dos sistemas de água

O cálculo dos investimentos da rede de distribuição, adutora, reservatório, bombas e inversor de frequência resultam em um valor total de R\$ 3.642.872,52, conforme indicado na Tabela 56 e Tabela 57.

Tabela 56. Cálculo de investimentos – Rede de distribuição, adutora e reservatório.

Rede Distribuição		
Variável	Unidade	Valor
População	hab	17.850,67
Total - economias	econ	5.328,42
Habitante x Economia	hab/econ	3,35
Total - ligações de rede	lig	6.683,25
Economia x Ligação	econ/Lig	0,80
Total - extensão de rede	m	80.442,23
Extensão Média - Rede	m/lig	12,04
Extensão Total - Rede	m	80.442,23
Substituição de rede/Reforço de rede	m	6.832,10
Custo total (Substituição e reforço de rede)	R\$	1.192.584,41
Custo Média - Rede	R\$/m	14,83
Custo por Substituição e reforço de rede	R\$	174,56
CUSTO TOTAL	R\$	1.192.584,41

Adutora (EAT)		
Variável	Unidade	Valor
Custo - Peças de conexão/adutora (da bomba EAT-001)	R\$	43.505,85
Custo - Peças de conexão/adutora (do RAP-004 e RAP-005)	R\$	292.332,11
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 335.837,96

RESERVATÓRIO (NOVO)		
Variável	Unidade	Valor
Reservatório apoiado metálico (novo)	R\$	1996450,15
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 1.996.450,15

Fonte: autor, 2024.

Tabela 57. Cálculo de investimentos – Bombas, inversor de frequência e custo total.

BOMBA - EAB-001 (Substituição) - ÁGUA BRUTA		
Variável	Unidade	Valor
nbombas	unidade	2
Potência	cv	50
Custo Unitário	R\$/bomba	R\$ 18.000,00
Custo da Bomba	R\$	R\$ 36.000,00
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 36.000,00
BOMBA - EAT-001 (Substituição) - ÁGUA TRATADA		
Variável	Unidade	Valor
n_bombas	unidade	2
Potência	cv	15
Custo Unitário	R\$/bomba	R\$ 16.000,00
Custo da Bomba	R\$	R\$ 32.000,00
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 32.000,00
BOMBA - EAT-002 (Substituição) - ÁGUA TRATADA		
Variável	Unidade	Valor
n_bombas	unidade	2
Potência	cv	35
Custo Unitário	R\$/bomba	R\$ 21.000,00
Custo da Bomba	R\$	R\$ 42.000,00
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 42.000,00
BOMBA - EAT-003 (Substituição) - ÁGUA TRATADA		
Variável	Unidade	Valor
n_bombas	unidade	1
Potência	cv	7,5
Custo Unitário	R\$/bomba	R\$ 6.000,00
Custo da Bomba	R\$	R\$ 6.000,00
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 6.000,00
BOMBA - total (EAB-001, EAT-001, EAT-002 e EAT-003)		
Variável	Unidade	Valor
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 116.000,00

INVERSOR DE FREQUÊNCIA - EAT-003		
Variável	Unidade	Valor
n_inversor de frequência	unidade	1
Potência	cv	7,5
Custo Unitário	R\$/inversor	R\$ 2.000,00
Custo da Bomba	R\$	R\$ 2.000,00
CUSTO TOTAL	R\$	R\$ 2.000,00

INVESTIMENTOS		
CUSTO TOTAL (R\$)		
Rede de distribuição e adutora	R\$	1.528.422,37
Reservatório	R\$	1.996.450,15
Bombas	R\$	116.000,00
Inversor de frequência	R\$	2.000,00
TOTAL	R\$	3.642.872,52

Fonte: Autor, 2024.

O cálculo do custo evitado da rede de distribuição, adutora, reservatório, bombas e inversor de frequência totalizam R\$ 236.225,31 por ano, conforme mencionado na Tabela 58, Tabela 59 e Tabela 60.

Tabela 58. Cálculo de custo evitado – Rede de distribuição, adutora e reservatório.

Rede Distribuição e Adutora		
Variável	Unid	Medidas Conjuntas
VolumePoup	m ³ /dia	76,00
CustoUnitProd*	R\$/m ³	5,13
CustoEvitado	R\$/ano	R\$ 142.306,20

Reservatório RAP-005		
Variável	Unid	Medida Isolada
P_EAT-002	cv	35
cv-kW	kW/cv	0,942857143
TarifaElétricaPonta	R\$/kWh	R\$ 0,60
TarifaDemandaPonta	R\$/kW	R\$ 65,69
hponta	h	3
CustoEvitado	R\$/ano	R\$ 47.853,23

Tabela 59. Cálculo de custo evitado – Bombas e inversor de frequência.

Bomba EAB-001 (água bruta)			
Variável	Unidade	Linha Base	Medida Isolada
Rendimento das bombas	%	0,78	0,82
Indicador de eficiência em instalação elevatória	kWh/m ³ *100m	0,35	0,33
Altura manométrica	mca	20	20
Velocidade	m ³ /s	0,05	0,05
Horas de operação	h/d	18	18
Volume de água	m ³ /d	3240	3240
Energia usada	kWh/d	226	215
Energia evitada	kWh/d		11
Tarifa Elétrica Fora Ponta	R\$/kWh	R\$ 0,44	R\$ 0,44
Custos Evitados	R\$/ano	-	1.762,37
Bomba EAT-001 (água tratada)			
Variável	Unidade	Linha Base	Medida Isolada
Rendimento das bombas	%	0,63	0,79
Indicador de eficiência em instalação elevatória	kWh/m ³ *100m	0,43	0,34
Altura manométrica	mca	20	15
Velocidade	m ³ /s	0,04	0,04
Horas de operação	h/d	18	18
Volume de água	m ³ /d	2592	2592
Energia usada	kWh/d	224	134
Energia evitada	kWh/d		90
Tarifa Elétrica Fora Ponta	R\$/kWh	R\$ 0,44	R\$ 0,44
Custos Evitados	R\$/ano	-	14.381,71

Bomba EAT-002 (água tratada)			
Variável	Unidade	Linha Base	Medida Isolada
Rendimento das bombas	%	0,75	0,76
Indicador de eficiência em instalação elevatória	kWh/m ³ *100m	0,36	0,36
Altura manométrica	mca	41	41
Velocidade	m ³ /s	0,05	0,05
Horas de operação	h/d	15	21
Volume de água	m ³ /d	2700	3780
Energia usada	kWh/d	402	556
Energia evitada	kWh/d		6
Tarifa Elétrica Fora Ponta	R\$/kWh	R\$ 0,44	R\$ 0,44
Custos Evitados	R\$/ano	-	957,53
Bomba EAT-003 (água tratada)			
Variável	Unidade	Linha Base	Medida Isolada
Rendimento das bombas	%	0,68	0,97
Indicador de eficiência em instalação elevatória	kWh/m ³ *100m	0,40	0,28
Altura manométrica	mca	23,5	25
Velocidade	m ³ /s	0,05	0,05
Horas de operação	h/d	21	21
Volume de água	m ³ /d	3780	3780
Energia usada	kWh/d	356	265
Energia evitada	kWh/d		90
Tarifa Elétrica Fora Ponta	R\$/kWh	R\$ 0,44	R\$ 0,44
Custos Evitados	R\$/ano	-	14.442,22

BOMBA - total (EAB-001, EAT-001, EAT-002 e EAT-003) - Custo evitado		
Variável	Unidade	Medidas Conjuntas
CustoEvitado	R\$/ano	R\$ 31.543,82

Inversor de frequência			
Variável	Unidade	Linha Base	Medida Isolada
Energia usada	kWh/mês	3504,44	4878,90
Energia evitada	kWh/mês		1374
Tarifa Elétrica	R\$/kWh	0,88047	0,88047
Custos Evitados	R\$/ano	-	14.522,05

Fonte: Autor, 2024.

Tabela 60. Cálculo de custo evitado – Custo total.

CUSTO EVITADO	
CUSTO TOTAL (R\$/ano)	
Rede de distribuição e adutora	142306,20
Reservatório	47853,23
Bombas	31543,82
Inversor de frequência	14522,05
TOTAL	R\$ 236.225,31

Fonte: Autor, 2024.

Os resultados mostram o cálculo do *payback* simples (Tabela 61), com o período de retorno estimado em 15 anos.

Tabela 61. Cálculo de *payback* simples (Cenário 03).

Descrição	Custos Evitados	Investimentos	Payback
Rede de distribuição, adutora, reservatório, bombas e inversor de frequência	R\$ 236.225,31	R\$ 3.642.872,52	15 anos

Fonte: Autor, 2024.

- *Payback* descontado

A vida útil típica desses equipamentos eletromecânicos varia entre 5 e 15 anos, podendo durar até 20 anos com uma manutenção adequada. Considerando um período de 20 anos, foi calculado o *payback* descontado com um investimento inicial de R\$ 3.642.872,52, utilizando o valor presente de cada fluxo de caixa futuro e uma Taxa de Desconto de 10%. O VPL total do projeto é de R\$ -570.362,25, com uma Taxa Interna de Retorno de 8%. O tempo adicional para o *payback* é superior a 38 anos, pois considera a perda de 10% ao ano. A avaliação concluiu que o projeto é inviável, pois o resultado do VPL é negativo (Tabela 62). O TIR calculado foi de 8%, menor do que a Taxa de Atratividade de 10% (Taxa SELIC). Além disso, a lucratividade foi menor do que R\$1,00.

Tabela 62. Cálculo de *payback* descontado - Período de 20 anos (Cenário 03).

Investimento Inicial	R\$ 3.642.872,52		
Taxa de Desconto	10,00%		
Período (Ano)	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$ 3.642.872,52	-R\$ 3.642.872,52	-R\$ 3.642.872,52
1	R\$ 236.225,31	R\$ 214.750,28	-R\$ 3.428.122,24
2	R\$ 255.123,33	R\$ 210.845,73	-R\$ 3.217.276,51
3	R\$ 275.533,20	R\$ 207.012,17	-R\$ 3.010.264,34
4	R\$ 297.575,85	R\$ 203.248,31	-R\$ 2.807.016,03
5	R\$ 321.381,92	R\$ 199.552,89	-R\$ 2.607.463,14
6	R\$ 347.092,48	R\$ 195.924,65	-R\$ 2.411.538,49
7	R\$ 374.859,87	R\$ 192.362,39	-R\$ 2.219.176,10
8	R\$ 404.848,66	R\$ 188.864,89	-R\$ 2.030.311,21
9	R\$ 437.236,56	R\$ 185.430,98	-R\$ 1.844.880,23
10	R\$ 472.215,48	R\$ 182.059,51	-R\$ 1.662.820,72
11	R\$ 509.992,72	R\$ 178.749,34	-R\$ 1.484.071,38
12	R\$ 550.792,14	R\$ 175.499,35	-R\$ 1.308.572,03
13	R\$ 594.855,51	R\$ 172.308,45	-R\$ 1.136.263,58
14	R\$ 642.443,95	R\$ 169.175,57	-R\$ 967.088,01
15	R\$ 693.839,47	R\$ 166.099,65	-R\$ 800.988,36
16	R\$ 236.225,31	R\$ 51.409,51	-R\$ 749.578,85
17	R\$ 255.123,33	R\$ 50.474,79	-R\$ 699.104,06
18	R\$ 275.533,20	R\$ 49.557,07	-R\$ 649.546,99
19	R\$ 297.575,85	R\$ 48.656,03	-R\$ 600.890,96
20	R\$ 205.381,92	R\$ 30.528,71	-R\$ 570.362,25

Soma VPs (Ano 1 a 20)	R\$ 3.072.510,27
VPL do Projeto	-R\$ 570.362,25
Taxa Interna de Retorno (TIR)	8%
Taxa de Lucratividade	0,84
Tempo de Payback (ano)	38,68
Resultado (projeto viável ou projeto inviável)	projeto inviável

Fonte: Autor, 2024.

Como já mencionado no fluxo de caixa foi considerado o aumento de 8% na tarifa anual de energia. Caso a situação econômica do país melhore e a taxa SELIC tem um valor menor que 8%, valor obtido de TIR, o projeto se torna viável, com VPL positivo de R\$ 110.298,33. E, apesar da taxa de lucratividade ainda seja baixa (o ganho de R\$ 0,03 por cada R\$ 1,00 investido), e o *payback* descontado seja de 18 anos aproximadamente (conforme Tabela 63), salienta-se que a concessionária de água deve investir sempre para melhor atender os seus consumidores; com água de qualidade; com menor desperdício pelas perdas (investir em melhores e mais modernas redes de abastecimento), porque as perdas são repassadas para o consumidor; além da possibilidade de atender ao aumento contínuo da população, de residências, empresas, entre outros. Desta forma, nesta proposta considera-se a melhoria da rede de abastecimento (troca de tubulação), a possibilidade de aumento de área de atendimento, e diminuição do consumo de energia. A proposta, desta forma, que pode parecer inviável matematicamente, é uma proposta necessária e de grande avanço para a concessionária e a população de Miranda/MS.

Tabela 63. Cálculo de *payback* descontado - Período de 20 anos (Cenário 03).

Investimento Inicial	R\$ 3.642.872,52
Taxa de Desconto	7,50%

Período (Ano)	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$ 3.642.872,52	-R\$ 3.642.872,52	-R\$ 3.642.872,52
1	R\$ 236.225,31	R\$ 219.744,47	-R\$ 3.423.128,05
2	R\$ 255.123,33	R\$ 220.766,54	-R\$ 3.202.361,51
3	R\$ 275.533,20	R\$ 221.793,36	-R\$ 2.980.568,15
4	R\$ 297.575,85	R\$ 222.824,96	-R\$ 2.757.743,19
5	R\$ 321.381,92	R\$ 223.861,35	-R\$ 2.533.881,84
6	R\$ 347.092,48	R\$ 224.902,57	-R\$ 2.308.979,27
7	R\$ 374.859,87	R\$ 225.948,63	-R\$ 2.083.030,65
8	R\$ 404.848,66	R\$ 226.999,55	-R\$ 1.856.031,10
9	R\$ 437.236,56	R\$ 228.055,36	-R\$ 1.627.975,73
10	R\$ 472.215,48	R\$ 229.116,08	-R\$ 1.398.859,65
11	R\$ 509.992,72	R\$ 230.181,74	-R\$ 1.168.677,91
12	R\$ 550.792,14	R\$ 231.252,35	-R\$ 937.425,56
13	R\$ 594.855,51	R\$ 232.327,95	-R\$ 705.097,61
14	R\$ 642.443,95	R\$ 233.408,54	-R\$ 471.689,07
15	R\$ 693.839,47	R\$ 234.494,16	-R\$ 237.194,91
16	R\$ 236.225,31	R\$ 74.266,16	-R\$ 162.928,74
17	R\$ 255.123,33	R\$ 74.611,59	-R\$ 88.317,15
18	R\$ 275.533,20	R\$ 74.958,62	-R\$ 13.358,54
19	R\$ 297.575,85	R\$ 75.307,26	R\$ 61.948,73
20	R\$ 205.381,92	R\$ 48.349,60	R\$ 110.298,33

Soma VPs (Ano 1 a 20)	R\$ 3.753.170,85
VPL do Projeto	R\$ 110.298,33
Taxa Interna de Retorno (TIR)	8%
Taxa de Lucratividade	1,03
Tempo de Payback (ano)	18,18
Resultado (projeto viável ou projeto inviável)	projeto viável

Fonte: Autor, 2024.

Desta forma, recomenda-se a implantação de qualquer um dos cenários, pois todos eles apresentam vantagens para a concessionária de água e para os consumidores.

6 CONCLUSÃO

Com base no levantamento de dados sobre a rede de abastecimento de água de Miranda/MS foram realizadas diversas simulações para o cálculo da potência adequada das bombas e do consumo de energia. Isso contemplou tanto a situação atual, com as demandas existentes, quanto as alternativas propostas. Ademais, foi desenvolvido um modelo de otimização operacional com foco na redução dos custos de energia elétrica, aplicado ao estudo de caso do sistema de abastecimento.

Apesar das diversas vantagens proporcionadas por essa técnica de bombeamento, é essencial que, antes de qualquer aplicação, sejam realizados o correto dimensionamento da bomba. Além disso, deve-se desenvolver um estudo aprofundado sobre a hidráulica operacional do sistema e realizar um levantamento de custos, considerando o investimento inicial e a redução do consumo de energia ao longo do projeto. Com essas informações, será possível avaliar a viabilidade técnica e econômica do projeto.

Foi realizado um estudo abordando três diferentes cenários para a eficiência energética no sistema de abastecimento de água de Miranda/MS.

No Cenário 01, foi investigada a troca das quatro bombas (EAB-001, EAT-001, EAT-002 e EAT-003), bem como o custo da energia de bombeamento, realizando uma análise técnica e econômica das alterações propostas. Isso permitiu o planejamento de uma rotina operacional que possibilitasse o funcionamento satisfatório do sistema, atendendo à demanda exigida, porém com um menor consumo de energia no sistema de bombeamento. A bomba EAB-001 possui uma eficiência de 72,18% e a bomba EAT-001 tem uma eficiência de 68,82%, esses valores indicam uma qualidade de serviço boa, com ambas as operações dentro da faixa de eficiência ótima, que vai de 68% a 100%. A bomba EAT-002 opera com 60,78% de eficiência e a bomba EAT-003 com 51,79%, esses resultados representam uma eficiência aceitável, mantendo uma qualidade de serviço mediana, dentro da faixa de eficiência média, que vai de 50% a 68%. Os resultados indicaram um período de retorno do investimento (*payback*) de 7 anos. O VPL positivo mostrou que o projeto é viável.

No Cenário 02, foi realizado um diagnóstico energético da bomba EAT-002 e implementada a utilização de inversores de frequência da bomba EAT-003. Através deste

estudo, foi possível identificar oportunidades de redução na tarifação de energia. Foi verificado o custo e a economia de energia elétrica da bomba EAT-002, e a melhor opção é o sistema proposto na 1ª alternativa, resultando no menor custo. O consumo durante o horário fora de ponta (HFP) é de 18 horas por dia, e não há incidência de horário de ponta. Não é necessário substituir a bomba, cuja potência é de 50 CV e rendimento de 75%. Também foi analisado o custo e a redução de energia elétrica da bomba EAT-003 com a instalação de um inversor de frequência, e a melhor alternativa é o sistema proposto na 2ª opção. A tarifa convencional é menor, resultando em um custo de R\$ 1.473,32. Os resultados incluem o cálculo do *payback*, com o período de retorno estimado em 3 anos na 1ª situação (que envolve a troca das bombas EAT-002 e EAT-003 e a instalação do inversor). Já na 2ª situação, o período de retorno estimado é de 1 ano, pois não é necessário trocar a bomba EAT-002, apenas a EAT-003, além da instalação do inversor. Foi avaliado que, mesmo considerando o *payback* descontado, o projeto é viável, com Valor Presente Líquido (VPL) positivo e uma Taxa Interna de Retorno (TIR) atrativa.

No Cenário 03 foram investigadas medidas como a substituição das bombas, a troca das antigas redes de cimento amianto por PVC, a instalação de uma nova adutora para otimização do sistema, a implantação de um novo reservatório com maior capacidade e a implementação de estratégias de gerenciamento de energia, como o uso eficiente das Horas de Ponta e Fora de Ponta, além dos cálculos de *payback*. Foi realizado o desenvolvimento do dimensionamento otimizado de redes de distribuição, o qual determina o dimensionamento ideal de sistemas e instalações, utilizando o modelo de simulação EPANET. Posteriormente, os custos de implantação e operação das alternativas foram calculados e avaliados. Na avaliação realizada do sistema proposto, constatou-se que as bombas EAB-001 com 67,18%, EAT-002 com 60,39% e EAT-003 com 50,02% estão operando com eficiência satisfatória, esses resultados representam uma eficiência aceitável, mantendo uma qualidade de serviço mediana dentro da faixa de eficiência média, que vai de 50% a 68%. Por outro lado, a bomba EAT-001 possui uma eficiência excelente de 75,41%, esse valor indica uma qualidade de serviço elevada, com a operação dentro da faixa de eficiência ótima, que vai de 68% a 100%. Os resultados mostram o cálculo do *payback* simples, com o período de retorno estimado em 15 anos. Considerando o *payback* descontado na avaliação (com uma taxa de desconto de 10%), concluiu-se que o projeto é inviável. No entanto, observa-se que, neste cenário, foi

considerada a ampliação do sistema para atender um maior número de residências. Como já indicado no fluxo de caixa, foi considerado um aumento de 8% na tarifa anual de água. Caso a situação econômica do país melhore e a taxa SELIC fique abaixo de 8% (valor obtido da TIR), o projeto se tornará viável, com um VPL positivo de R\$ 110.298,33. Apesar de a taxa de lucratividade ainda ser baixa (com ganho de R\$ 0,03 para cada R\$ 1,00 investido) e o retorno descontado ocorrer em aproximadamente 18 anos, destaca-se que a concessionária de água deve sempre investir para melhor atender seus consumidores, oferecendo água de qualidade e reduzindo o desperdício por perdas (investindo em redes de abastecimento melhores e mais modernas), uma vez que essas perdas são repassadas ao consumidor. Além disso, é necessário atender ao crescimento contínuo da população, residências, empresas, entre outros. Dessa forma, nesta proposta, considera-se a melhoria da rede de abastecimento (troca de tubulação), a possibilidade de aumento da área de atendimento e a diminuição do consumo de energia. Assim, embora a proposta possa parecer matematicamente inviável, ela é necessária e representa um grande avanço para o desempenho da concessionária e para a população de Miranda/MS.

Foi concluído que a melhor opção é o Cenário 03. Foram analisadas todas as medidas, como a substituição das bombas, a troca das antigas redes de cimento amianto por PVC, a instalação de uma nova adutora para otimização do sistema, a implantação de um novo reservatório com maior capacidade, a instalação de inversores de frequência nas bombas, a reavaliação da tarifa de energia das bombas e os cálculos de *payback*. Os resultados indicam que o cálculo do *payback* simples apresenta um período de retorno estimado em 15 anos, o que representa um tempo mais longo em comparação com a vida útil dos componentes, mas que resulta em maior eficiência energética. Considerando o *payback* descontado na avaliação (com uma taxa de desconto de 7,5%), concluiu-se que o projeto é viável. No entanto, é importante observar que, neste cenário, foi considerada a ampliação do sistema para atender a um maior número de residências.

TRABALHOS FUTUROS

A análise de eficiência energética em sistemas de abastecimento de água é uma área de pesquisa que apresenta inúmeras oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias e métodos que promovam a sustentabilidade e a economia de recursos. Apesar das diversas vantagens proporcionadas por técnicas avançadas de bombeamento, é essencial que, antes de qualquer aplicação, sejam realizados estudos detalhados e rigorosos. A seguir, são apresentadas algumas direções promissoras para trabalhos futuros nesta área.

- Dimensionamento Correto da Bomba

O dimensionamento adequado das bombas é crucial para garantir a eficiência energética e a operação otimizada do sistema de abastecimento de água. Futuras pesquisas devem focar no desenvolvimento de métodos precisos de dimensionamento que considerem variáveis como a demanda hídrica, a altura manométrica e a eficiência dos motores. Estudos podem explorar o uso de ferramentas de simulação avançada e algoritmos de otimização para selecionar as bombas mais apropriadas para cada aplicação específica.

- Estudo Aprofundado da Hidráulica Operacional

Compreender a hidráulica operacional do sistema é fundamental para identificar pontos de melhoria na eficiência energética. Pesquisas futuras podem investigar o comportamento hidráulico em diferentes condições operacionais, utilizando simulações computacionais e experimentos em campo. Essas análises podem ajudar a identificar áreas onde ocorrem perdas de energia e propor soluções, como a instalação de válvulas de controle de pressão ou a reconfiguração das redes de distribuição.

- Levantamento de Custos e Análise de Viabilidade

A análise econômica é crucial para avaliar a viabilidade de projetos de eficiência energética. Futuras investigações devem se concentrar em métodos de levantamento de custos que considerem tanto o investimento inicial quanto os benefícios econômicos em longo prazo, como a redução do consumo de energia e a diminuição dos custos operacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLIANCE TO SAVE ENERGY – ASE. **Watergy: taking advantage of untapped energy and water efficiency opportunities in municipal water systems**. Washington: Alliance to Save Energy, 2002.

ANDRADE, D. R. de. **Eficiência energética: análise do retorno da implementação de um projeto em uma instituição pública brasileira**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Curso de Graduação em Engenharia de Produção, 2023.

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Projetos de Eficiência Energética em Saneamento**. Guia auxiliar para os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE da ANEEL, 2019.

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 783**, 2017.

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 1000/2021**, 2021.

BABAEI, N.; TABESH, M.; NAZIF, S. **Optimum reliable operation of water distribution networks by minimising energy cost and chlorine dosage**. Water SA, 2015.

BOUZON, M.; COELHO, A. S.; RODRIGUEZ, C. M. T. **Determinação do padrão de operação ótimo para o custo energético de um sistema de distribuição de água**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2013.

BRAGHIROLI, M.A et al. **Estação Elevatória de Água de Santana: um Caso de Sucesso na Redução de Perdas e Consumo de Energia no Setor de Saneamento**. In: III International Workshop Advances In Cleaner Production, 2011, Sao Paulo: 2011.

CALDO, L. de A; RAMALHO; T. B; SELVA, R. V. **Desenvolvimento de ferramenta operacional para o sistema de abastecimento de água de Coxim-MS por meio de modelagem hidráulica**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), 2008, Campo Grande/MS.

CAMARGOS, M. A. de. **Matemática financeira - Aplicada a produtos financeiros e à análise de investimentos**. Editora Saraiva, 2017.

CASTANHO, M. J. P.; OUTEIRO, V. H.; HERNANDES, F. **Uso de Programação Matemática Fuzzy para Reduzir Custos de Energia.** Anais do XXXV Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional – CNMAC, Natal – RN, 2014.

CHERCHI, C., BADRUZZAMAN, M., GORDON, M., BUNN, S., JACANGELO, J.G. **Investigation of cost and energy optimization of drinking water distribution systems.** *Environ. Sci. Technol*, 2015.

CHIOVATTO, C.; BISPO, D.; FERRAZ, J. H. S.; BERNARDES, W. M. S. **Análise de sistema de bombeamento sob o enfoque da eficiência energética, SAE - Araguari/MG.** Researchgate - IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética - Universidade Federal de Juiz de Fora, 2015.

CONDURÚ, Marise Teles; PEREIRA, José Almir Rodrigues. **Informação estratégica para a gestão hidroenergética de sistemas de abastecimento de água.** In: GOMES, Heber Pimentel (Org.). Sistema de Saneamento: eficiência energética. João Pessoa: Ed. Universitária - UFPB, 2010.

DUTRA, R. F. E; ALTAFINI, C. R. **Melhorias em um sistema de bombeamento municipal visando à Eficiência Energética – Estudo de Caso,** Scientia Cum Indústria (Sci. Cum Ind.), 2014.

ELETOBRÁS - **Plano de ação** PROCEL SANEAR 2006/2007. Rio de Janeiro - RJ: PROCEL, 2005.

FILHO, D. O.; RIBEIRO, M. C.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; FERNANDES, H. C. **Dimensionamento de motores para o bombeamento de água.** SCIELO BRAZIL - Eng. Agríc. Jaboticabal, v.30, n.6, p. 1012-1022, nov./dez. 2010.

FILHO, D. O.; SAMPAIO, R. P.; MORAES, M. J. de.; PIZZILO, T. de. A.; DAMIÃO, J. H. A. de. C. **Metodologia de diagnóstico energético em estação de captação de água.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - UAEEA/UFCG. Campina Grande/PB, agosto/2011.

FIRMINO, M. B. M.; ALBUQUERQUE, A. A.; CURI, W. F.; SILVA, N. C. **Método de eficiência energética no bombeamento de água, via programação linear e inteira.** VI SEREA

- Seminário Ibero americano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água de Paraíba, 2006 - João Pessoa /PB.

FRACASSO, P. T. **Redução de Gastos com Energia Elétrica em Sistemas de Distribuição de Água Utilizando Processos Decisórios de MARKOV**. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Edição Revisada. São Paulo, 2014.

FREITAS, M. F. **Avaliação de riscos geológicos no planejamento energético eólico no Rio Grande do Norte**, Fortaleza. Revista de Eng Sanit Ambient, 2016.

GITMAN, L. **Princípios da administração financeira**. São Paulo: Qualitymark, 1992.

GUANAIS, A. L. R; COHIM, E. B; MEDEIROS, D. L. **Avaliação energética de um sistema integrado de abastecimento de água**. Artigo em Engenharia Sanitária e Ambiental – Feira de Santana/BA - julho, 2017.

GUEDES, C. F. B. **Políticas públicas de estímulo à P&D: uma avaliação dos resultados do programa regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL**. 2011.

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Miranda_\(Mato_Grosso_do_Sul\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Miranda_(Mato_Grosso_do_Sul))

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/miranda/panorama>

JUNG, D.; KANG, D.; KANG, M.; KIM, B. **Real-time pump scheduling for water transmission systems: Case study**. KSCE Journal of Civil Engineering, 2014.

KROCOVÁ, S. **Water supply systems and their influence on increasing operational safety in industry**. Perspectives in Science, 2016.

KURITZA, J. C.; CAMPONOGARA, G.; MARQUES, M. G.; SANAGIOTTO, D. G.; BATTISTON, C. **Dimensionless curves of centrifugal pumps for water supply systems: development and case study**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), Porto Alegre/RS, v.22, e45, 2017.

LUCENA, K. F. M. de. **Aplicação de modelos de otimização na operação de sistemas elevatórios em redes de abastecimento de água**. Revista Principia – Divulgação científica e tecnológica do IFPB, nº 51 – João Pessoa/PB, 2020.

MACHADO, E. C. M. N.; SANTANA, C. W. S.; BRASILEIRO, E. V. GALVÃO, C. de O.; BRASILEIRO, F. V. 2005. **Otimização da operação de redes de adução de água utilizando algoritmos genéticos**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa - Brasil, 2005.

MALA-JETMAROVA, H.; SULTANOVA, N.; SAVIC, D. **Lost in optimisation of water distribution systems?** A literature review of system operation. Environmental Modelling e Software 93, 2017.

MAMADE, A.; LOUREIRO, D.; COVAS, D. **Energy auditing as a tool for improving service efficiency of water supply systems**, in 16th Conference on Water Distribution System Analysis, Bari, Italy, 2014.

MODESTO, A. G.; ALMEIDA, F. da. C.; CORRÊA, W. da. S.; FORTES, M. Z. **Mapeamento tecnológico da aplicação de redes neurais para eficiência energética de sistemas de bombeamento**. Universidade Federal Fluminense – UFF. Revista de Tecnologia Aplicada (RTA) v.11, n.3, p. 82-95. Set-Dez 2022.

MONACHESI, M. G. **Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS/PROCEL, 2005.

MONTEIRO, M.A.G.; MONACHESI, M.G. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento**. Rio de Janeiro, Eletrobras; Procel (Manual Prático), 2005.

MONTENEGRO, L. L. B. **Eficiência hidráulica e energética da operação do bombeamento para o abastecimento do bairro de Mangabeira em João Pessoa**. Universidade Federal da Paraíba, 2009 - João Pessoa/PB.

MOREIRA, F. N. C. **Dimensionamento do volume útil de reservação de água considerando o consumo de energia elétrica no horário de ponta do setor elétrico**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará – Mestre em Engenharia Civil, 2018 – Belém/PA.

MOURA, G. N. P. de. **A relação entre água e energia: Gestão energética nos sistemas de abastecimento de água das companhias de saneamento básico do Brasil**, Dissertação de Mestrado Rio de Janeiro, 2010.

NETO, M. S. A. **Medidas de Eficiência Energética em Serviços de Distribuição de Água e Saneamento**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

OZCELIK, M. **Alternative model for electricity and water supply after disaster**. Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Geological Engineering, Isparta, Turkey, 2017.

PEREIRA, A. C. **Otimização de sistemas de abastecimento de água para redução do custo com energia elétrica: um estudo de caso**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia de Bauru da Universidade Estadual Paulista, 2021.

PERRONI, B. L. T.; CARVALHO, J. de. A.; FARIA, L. C. **Velocidade econômica de escoamento e custos de energia de bombeamento**. SCIELO BRAZIL - Eng. Agríc. Jaboticabal, v.31, n.3, p. 487-496, maio/jun. 2011.

PILLOT, J. CATEL, L. RENAUD, E. AUGÉARD, B. ROUX, P. **Up to what point is loss reduction environmentally friendly?: The LCA of loss reduction scenarios in drinking water networks**. Water Research, 2016.

POLESE, E. L. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento: uso do variador de frequência**. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Engenharia Civil, 2010 – Porto Alegre/RS.

RAMOS, H. R.; VIEIRA, F.; DÍDIA I.; COVAS, C. **Energy efficiency in a water supply system: Energy consumption and CO2 emission**. Water Science and Engineering, 2010.

REIS JUNIOR, J. C. F. R. **Análise hidroenergética da rotina operacional de sistema de bombeamento utilizado em abastecimento público de água**, Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPA, Belém, PA, 2012.

ROSS, S.A.; WESTERFIELD, R.W.; JAFFE, J.; AL., E. **Administração financeira**. São Paulo: Grupo A, 2015.

SANTOS, L. L. C. **Metodologia para análise da tarifa branca e da geração distribuída de pequeno porte nos consumidores residenciais de baixa tensão**. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Elétrica) – da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, 2014.

SCHALTEGGER, R.; BURRITT, S.; ZVEZDOV, D.; HÖRISCH, J. **Management roles and Sustainability information**. Exploring corporate practices Aust. Account., 2015.

SNSA – SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Eficiência Energética– Ações de assistência técnica em redução e controle de perdas de água e uso eficiente de energia elétrica (versão revisada)**, 2018.

SILQUEIRA, M. G. **Estudo de correlação de parâmetros hidráulicos e elétricos aplicado ao setor de rede de água no sul de Minas Gerais**. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia da Universidade Federal de Itajubá – Mestre em Engenharia de Energia, 2019 – Itajubá/MG.

SILVA, L. H. P. da.; CRUZ, K. E. A. da.; OLIVEIRA, L. N.; NETO, M. T. de M.; PEDROSA, H. T. dos S.; **Pré-diagnóstico das eficiências eletromecânicas e hidroenergéticas de sistemas de abastecimento de água a partir do consumo energético normalizado**. 30º Congresso ABES, 2019.

SILVA, M. J. G. da.; ARAÚJO, C. S. de.; MARQUES, S. de. T.; A, S.; SOUTO, C. da. R.; GOMES, H. P.; **Sistema de controle adaptativo aplicado a um sistema de distribuição de água de água com ênfase na eficiência energética**. Trabalho realizado no Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba UFPB – João Pessoa/PB, Brasil - Artigo Técnico – Eng. Sanit. Ambiental | v.20 n.3 | 2015.

SOBRINHO, R. A; BORJA, P. C. **Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS**. Artigo Técnico - Eng. Sanit. Ambient. 21 (04). Oct-Dec 2016. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016116037>.

SOUSA, A. C. de.; SOARES, A. K.; **Modelo para otimização hidroenergética da operação de bombeamento em sistemas de distribuição de água**. Artigo Técnico - Eng Sanit Ambient | v.26 n.3 | maio/jun 2021.

SOUZA, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos: Fundamentos, Técnicas e Aplicações**. Grupo GEN, 2008.

THORNTON, J. **Contratos de performance: contratos pioneiros para redução de perdas de água e eficiência energética: apresentação**. In: Grupo de Economia do Saneamento, Energia & Soluções Ambientais, São Paulo, 2012.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 2ª edição - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005 – São Paulo/SP.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3ª edição – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006 - São Paulo/SP.

TSUTIYA, M. T. **Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

VASCONCELLOS, A. B. de.; BRIDI, A. B.; LIMA, L. O. da. S.; BEUTER, C. H.; MALHEIRO, T. I. R. de. C. **Eficiência elétrica e distorções harmônicas com o uso dos conversores de frequência nos sistemas de bombeamento de água**. Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Engineering and Science - Scientific Journal of FALET and ICET UFMT – 2014.

VIVAS, E.; LEITE, P.; VALENTE, L.; TENTÚGAL-VALENTE, J.; FIGUEIREDO, M. P.; AGUILAR, N.; FERREIRA, R. **Estudos de otimização energética em estações elevatórias**. Uma metodologia para sua seleção. IN: 12.º Congresso da Água / 16.º ENASB / XVI SILUBESA, 2014, Portugal, Lisboa. Planejamento de Recursos Hídricos.

WALSKI, T. M., CHASE, D. V., SAVIC, D. A. **Water Distribution Modeling**. 1ª. ed. Waterbury: Haestad Press, 2001.

ZOCOLER, J. L.; HERNANDEZ, F. B.T.; SAAD, J. C.C.; CRUZ, R. L. **Período de recuperação do investimento em bomba hidráulica de melhor rendimento em sistemas de bombeamento na tarifa horossazonal verde**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.31, n.2, p.290-302, mar./abr.2011.

ZOT, W. D.; CASTRO, M. L. D. **Matemática financeira**. Porto Alegre: Grupo A, 2015.

APÊNDICE

MEMÓRIA DE CÁLCULO

1) Cenário 01 - Eficiência energética em quatro sistemas de bombeamento de Miranda/MS

1.1) CÁLCULO - SISTEMA ATUAL

1.1.1) BOMBA EAB-001

- Volume recalcado (média) = 119.386,00 m³

- Horas de funcionamento da bomba (média) → $h_{ai} = 652,9166667$ horas

- Vazão (m³/s) → $Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{119.386,00 \text{ m}^3}{652,9166667 \text{ h} \times 3600 \text{ s}} = 0,05079175 \text{ m}^3/\text{s}$

- Vazão (m³/h) → $Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{119.386,00 \text{ m}^3}{652,9166667 \text{ h}} = 182,85028717 \text{ m}^3/\text{h}$

- Altura manométrica (mca) → $H_{ai} = 20,00$ mca

- Potência nominal do motor (CV) → $p_{ai} = 30 \text{ CV} \rightarrow 1 \text{ kW} = 1,36 \text{ CV} \rightarrow 22,06 \text{ kW}$

- Carregamento → $\gamma_{ai} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$

$$\begin{aligned} \text{Potência requerida} &= \frac{9,81 \times Q_{ai} \times H_{ai}}{\eta_{ai}} = \frac{9,81 \times \frac{0,05079175 \text{ m}^3}{\text{s}} \times 20,00 \text{ mca}}{\frac{78\%}{100\%}} \\ &= 12,77607865 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\gamma_{ai} = \frac{12,77607865 \text{ kW}}{22,06 \text{ kW}} = 0,5792$$

- Rendimento nominal (%) → $\eta_{nai} = 78 \%$

- Rendimento no ponto de carregamento (%) → $\eta_{ai} = 78\%$

- Quantidade → $q_{ai} = 1$ unidade

- Potência instalada (kW) → $P_{ai} = \frac{p_{ai} \times 0,736 \times q_{ai} \text{ (kW)}}{\eta_{ai}/100} =$

$$\frac{30 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{78\%/100\%} = 28,30769231 \text{ kW}$$

- Potência média utilizada (kW) → $P_{uai} = \frac{P_{ai} \times \gamma_{ai}}{\eta_{nai}/\eta_{ai}} = \frac{28,30769231 \text{ kW} \times 0,5792}{78\%/78\%} = 16,395 \text{ kW}$

- Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1) → $FCP_{ai} = \text{adotar "1"}$
- Consumo de energia (kWh/ano) → $E_{ai} = P_{uai} \times h_{ai} = 16,395 \text{ kW} \times 652,9166667 \text{ horas} = 10.704,77 \text{ kWh/ano}$
- Energia consumida (MWh/ano) → $E_{ai} = \frac{P_{uai} \times h_{ai}}{1000} = \frac{16,395 \text{ kW} \times 652,9166667 \text{ horas}}{1000} = 10,70 \text{ MWh/ano}$
- Demanda média na ponta (kW) → $D_{ai} = P_{uai} \times FCP_{ai} = 16,395 \text{ kW} \times 1 = 16,40 \text{ Kw}$

1.1.2) BOMBA EAT-001

- Volume recalcado (média) = $60667,66667 \text{ m}^3$
- Horas de funcionamento da bomba (média) → $h_{ai} = 398,0833333 \text{ horas}$
- Vazão (m^3/s) → $Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{60667,66667 \text{ m}^3}{398,0833333 \text{ h} \times 3600 \text{ s}} = 0,04233317 \text{ m}^3/\text{s}$
- Vazão (m^3/h) → $Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{60667,66667 \text{ m}^3}{398,0833333 \text{ h}} = 152,39941386 \text{ m}^3/\text{h}$
- Altura manométrica (mca) → $H_{ai} = 20,00 \text{ mca}$
- Potência nominal do motor (CV) → $p_{ai} = 25 \text{ CV} \rightarrow 1 \text{ Kw} = 1,36 \text{ CV} \rightarrow 18,38 \text{ Kw}$
- Carregamento → $\gamma_{ai} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$

$$\text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{ai} \times H_{ai}}{\eta_{ai}} = \frac{9,81 \times \frac{0,04233317 \text{ m}^3}{\text{s}} \times 20,00 \text{ mca}}{\frac{63\%}{100\%}} = 13,18375866 \text{ kW}$$

$$\gamma_{ai} = \frac{13,18375866 \text{ kW}}{18,38 \text{ kW}} = 0,71719648$$

- Rendimento nominal (%) → $\eta_{nai} = 63 \%$
- Rendimento no ponto de carregamento (%) → $\eta_{ai} = 63\%$
- Quantidade → $q_{ai} = 1 \text{ unidade}$

$$\begin{aligned} \text{Potência instalada (kW)} &\rightarrow P_{ai} = \frac{p_{ai} \times 0,736 \times q_{ai} \text{ (kW)}}{\eta_{ai}/100} = \\ \frac{25 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{63\%/100\%} &= 29,20634921 \text{ kW} \end{aligned}$$

- **Potência média utilizada (kW)** $\rightarrow P_{uai} = \frac{P_{ai} \times \gamma_{ai}}{\eta_{mai}/\eta_{ai}} = \frac{29,20634921 \text{ kW} \times 0,71719648}{63\%/63\%} = 20,94669084 \text{ kW}$
- **Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1)** $\rightarrow FCP_{ai} = \text{adotar "0,50"}$
- **Consumo de energia (kWh/ano)** $\rightarrow E_{ai} = P_{uai} \times h_{ai} = 20,94669084 \text{ kW} \times 398,0833333 \text{ horas} = 8.338,53 \text{ kWh/ano}$
- **Energia consumida (MWh/ano)** $\rightarrow E_{ai} = \frac{P_{uai} \times h_{ai}}{1000} = \frac{20,95 \text{ kW} \times 398,08 \text{ horas}}{1000} = 8,34 \text{ MWh/ano}$
- **Demanda média na ponta (kW)** $\rightarrow D_{ai} = P_{uai} \times FCP_{ai} = 20,94669084 \text{ kW} \times 0,50 = 10,47 \text{ kW}$

1.1.3) BOMBA EAT-002

- **Volume recalcado (média)** = 85579,91667 m³
- **Horas de funcionamento da bomba (média)** $\rightarrow h_{ai} = 528,2500000 \text{ horas}$
- **Vazão (m³/s)** $\rightarrow Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{85579,91667 \text{ m}^3}{528,2500000 \text{ h} \times 3600 \text{ s}} = 0,04500180 \text{ m}^3/\text{s}$
- **Vazão (m³/h)** $\rightarrow Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{85579,91667 \text{ m}^3}{528,2500000 \text{ h}} = 162,00646790 \text{ m}^3/\text{h}$
- **Altura manométrica (mca)** $\rightarrow H_{ai} = 41,00 \text{ mca}$
- **Potência nominal do motor (CV)** $\rightarrow p_{ai} = 50 \text{ CV} \rightarrow 1 \text{ Kw} = 1,36 \text{ CV} \rightarrow 36,76 \text{ Kw}$
- **Carregamento** $\rightarrow \gamma_{ai} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$

$$\text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{ai} \times H_{ai}}{\eta_{ai}} = \frac{9,81 \times \frac{0,04500180 \text{ m}^3}{\text{s}} \times 41,00 \text{ mca}}{\frac{75\%}{100\%}} = 24,1335653 \text{ kW}$$

$$\gamma_{ai} = \frac{24,1335653 \text{ kW}}{36,76 \text{ kW}} = 0,65643293$$

- **Rendimento nominal (%)** $\rightarrow \eta_{nai} = 75 \%$
- **Rendimento no ponto de carregamento (%)** $\rightarrow \eta_{ai} = 75\%$
- **Quantidade** $\rightarrow q_{ai} = 1 \text{ unidade}$

$$\text{- Potência instalada (kW)} \rightarrow P_{ai} = \frac{p_{ai} \times 0,736 \times q_{ai} \text{ (kW)}}{\eta_{ai}/100} =$$

$$\frac{50 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{75\%/100\%} = 49,06666667 \text{ kW}$$

$$\text{- Potência média utilizada (kW)} \rightarrow P_{uai} = \frac{P_{ai} \times \gamma_{ai}}{\eta_{nai}/\eta_{ai}} = \frac{49,06666667 \text{ kW} \times 0,65643293}{75\%/75\%} =$$

$$32,20897563 \text{ kW}$$

$$\text{- Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1)} \rightarrow FCP_{ai} = \text{adotar "1"}$$

$$\text{- Consumo de energia (kWh/ano)} \rightarrow E_{ai} = P_{uai} \times h_{ai} = 32,20897563 \text{ kW} \times 528,2500000$$

$$\text{horas} = 17014,39 \text{ kWh/ano}$$

$$\text{- Energia consumida (MWh/ano)} \rightarrow E_{ai} = \frac{P_{uai} \times h_{ai}}{1000} = \frac{32,20897563 \text{ kW} \times 528,25 \text{ horas}}{1000} = 17,01$$

$$\text{MWh/ano}$$

$$\text{- Demanda média na ponta (kW)} \rightarrow D_{ai} = P_{uai} \times FCP_{ai} = 32,20897563 \text{ kW} \times 1 = 32,21$$

$$\text{kW}$$

1.1.4) BOMBA EAT-003

$$\text{- Volume recalcado (média)} = 14833,16667 \text{ m}^3$$

$$\text{- Horas de funcionamento da bomba (média)} \rightarrow h_{ai} = 703,9166667 \text{ horas}$$

$$\text{- Vazão (m}^3/\text{s)} \rightarrow Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{14833,16667 \text{ m}^3}{703,9166667 \text{ h} \times 3600 \text{ s}} = 0,00585343 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{- Vazão (m}^3/\text{h)} \rightarrow Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{14833,16667 \text{ m}^3}{703,9166667 \text{ h}} = 21,07233337 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{- Altura manométrica (mca)} \rightarrow H_{ai} = 23,50 \text{ mca}$$

$$\text{- Potência nominal do motor (CV)} \rightarrow p_{ai} = 4,5 \text{ CV} \rightarrow 1 \text{ Kw} = 1,36 \text{ CV} \rightarrow 3,308823529 \text{ Kw}$$

$$\text{- Carregamento} \rightarrow \gamma_{ai} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$$

$$\text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{ai} \times H_{ai}}{\eta_{ai}} = \frac{9,81 \times \frac{0,00585343 \text{ m}^3}{\text{s}} \times 23,50 \text{ mca}}{\frac{68\%}{100\%}} = 1,98444189 \text{ kW}$$

$$\gamma_{ai} = \frac{1,98444189 \text{ kW}}{3,308823529 \text{ kW}} = 0,599742$$

$$\text{- Rendimento nominal (\%)} \rightarrow \eta_{nai} = 68 \%$$

- **Rendimento no ponto de carregamento (%)** $\rightarrow \eta_{ai} = 68\%$

- **Quantidade** $\rightarrow q_{ai} = 1$ unidade

$$\text{Potência instalada (kW)} \rightarrow P_{ai} = \frac{p_{ai} \times 0,736 \times q_{ai} \text{ (kW)}}{\eta_{ai}/100} = \frac{4,5 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{68\%/100\%} = 4,87058824 \text{ kW}$$

$$\text{Potência média utilizada (kW)} \rightarrow P_{uai} = \frac{P_{ai} \times \gamma_{ai}}{\eta_{nai}/\eta_{ai}} = \frac{4,87058824 \text{ kW} \times 0,599742}{68\%/68\%} = 2,921096 \text{ kW}$$

- **Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1)** $\rightarrow FCP_{ai} = \text{adotar "1"}$

- **Consumo de energia (kWh/ano)** $\rightarrow E_{ai} = P_{uai} \times h_{ai} = 2,921096 \text{ kW} \times 703,9166667 \text{ horas} = 2056,21 \text{ kWh/ano}$

$$\text{Energia consumida (MWh/ano)} \rightarrow E_{ai} = \frac{P_{uai} \times h_{ai}}{1000} = \frac{2,921096 \text{ kW} \times 703,9166667 \text{ horas}}{1000} = 2,06 \text{ MWh/ano}$$

- **Demanda média na ponta (kW)** $\rightarrow D_{ai} = P_{uai} \times FCP_{ai} = 2,921096 \text{ kW} \times 1 = 2,92 \text{ kW}$

SISTEMA ATUAL						
Descrição / unidade		Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL
		Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP-001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)	
		Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003	
Vazão média (m3/s)	Q_{ai}	0,05	0,04	0,05	0,01	
Vazão média (m3/h)	Q_{ai}	182,85	152,40	162,01	21,07	
Altura manométrica média (mca)	H_{ai}	20,00	20,00	41,00	23,50	
Potência nominal do motor (cv)	p_{ai}	30	25	50	4,5	
Carregamento	γ_{ai}	0,58	0,72	0,66	0,60	
Rendimento nominal (%)	η_{nai}	78,00	63,00	75,00	68,00	
Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{ai}	78,00	63,00	75,00	68,00	
Quantidade	q_{ai}	1,00	1,00	1,00	1,00	
Potência instalada (kW)	$P_{ai} = (p_{ai} \times 0,736 \times q_{ai}) / (\eta_{nai} / 100)$	28,31	29,21	49,07	4,87	
Potência média utilizada (kW)	$P_{uai} = P_{ai} \times \gamma_{ai} \times (\eta_{nai} / \eta_{ai})$	16,40	20,95	32,21	2,92	
Funcionamento (h/ano)	h_{ai}	652,92	398,08	528,25	703,92	
FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{ai}	1,00	0,50	1,00	1,00	
Consumo de energia produção (KWh/ano) ou Consumo de energia distribuição (KWh/ano)	$E_{ai} = (P_{uai} \times h_{ai})$	10.704,77	8.338,53	17.014,39	2.056,21	
Energia consumida (MWh/ano)	$E_{ai} = (P_{uai} \times h_{ai}) / 1000$	10,70	8,34	17,01	2,06	45,31
Demanda média na ponta (kW)	$D_{ai} = P_{uai} \times FCP_{ai}$	16,40	10,53	32,21	2,92	74,32

1.1.5) CÁLCULO DA EFICIÊNCIA ELETROMECÂNICA EM INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS (SISTEMA ATUAL)

1.1.5.1) BOMBA EAB-001

- Volume recalcado (média) → 119386,00 m³

- Altura manométrica → 20,00 mca

- Energia consumida → 10704,77 kWh

- Indicador CEN → $CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{10704,77 \times 100}{119386,00 \times 20} = 0,448326018 \text{ kWh}/(m^3 \times 100m)$

- Eficiência energética → $\eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,448326018} = 60,78 \%$

- Avaliação do rendimento da bomba → Operação como eficiência média

** Um valor mediano encontra-se entre 0,40 e 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias entre 50% e 68%).

1.1.5.2) BOMBA EAT-001

- Volume recalcado (média) → 60667,67 m³

- Altura manométrica → 20,00 mca

- Energia consumida → 8338,53 kWh

- Indicador CEN → $CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{8338,53 \times 100}{60667,67 \times 20} = 0,687237707 \text{ kWh}/(m^3 \times 100m)$

- Eficiência energética → $\eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,687237707} = 39,65 \%$

- Avaliação do rendimento da bomba → Operação ineficiente

** Valores insatisfatórios são superiores a 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias inferiores a 50 %).

1.1.5.3) BOMBA EAT-002

- Volume recalcado (média) → 85579,92 m³

- Altura manométrica → 41,00 mca

- Energia consumida → 17014,39 kWh

- **Indicador CEN** $\rightarrow CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{17014,39 \times 100}{85579,92 \times 41} = 0,484909453 \text{ kWh}/(m^3 \times 100m)$

- **Eficiência energética** $\rightarrow \eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,484909453} = 56,20 \%$

- **Avaliação do rendimento da bomba** \rightarrow Operação como eficiência média

** Um valor mediano encontra-se entre 0,40 e 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias entre 50% e 68%).

1.1.5.4) BOMBA EAT-003

- **Volume recalcado (média)** $\rightarrow 14833,17 \text{ m}^3$

- **Altura manométrica** $\rightarrow 23,50 \text{ mca}$

- **Energia consumida** $\rightarrow 2056,21 \text{ kWh}$

- **Indicador CEN** $\rightarrow CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{2056,21 \times 100}{14833,17 \times 23,50} = 0,589882661 \text{ kWh}/(m^3 \times 100m)$

- **Eficiência energética** $\rightarrow \eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,589882661} = 46,20 \%$

- **Avaliação do rendimento da bomba** \rightarrow Operação ineficiente

** Valores insatisfatórios são superiores a 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias inferiores a 50 %).

SISTEMA ATUAL				
Descrição	Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04
	Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP-001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)
	Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003
Volume recalcado (média) - m ³	119386,00	60667,67	85579,92	14833,17
Altura manométrica - Hmt	20,00	20,00	41,00	23,50
Energia consumida - kWh	10704,77	8338,53	17014,39	2056,21
CEN / Ph5 (kWh/m ³ x100m)	0,45	0,69	0,48	0,59
Eficiência energética - η (%)	60,78	39,65	56,20	46,20
Avaliação do rendimento da bomba	Operação como eficiência média	Operação ineficiente	Operação como eficiência média	Operação ineficiente

1.2) CÁLCULO - SISTEMA PROPOSTO

1.2.1) BOMBA EAB-001

- **Volume recalcado (média)** = 119.386,00 m³

- **Horas de funcionamento da bomba (média)** $\rightarrow hpi = 652,9166667 \text{ horas}$

- **Vazão (m³/s)** → $Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{119.386,00 \text{ m}^3}{652,9166667 \text{ h} \times 3600 \text{ s}} = 0,05079175 \text{ m}^3/\text{s}$

- **Vazão (m³/h)** → $Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{119.386,00 \text{ m}^3}{652,9166667 \text{ h}} = 182,85028717 \text{ m}^3/\text{h}$

- **Altura manométrica (mca)** → $H_{pi} = 20,00 \text{ mca}$

- **Potência nominal do motor (CV)** → $p_{pi} = 25 \text{ CV} \rightarrow 1 \text{ Kw} = 1,36 \text{ CV} \rightarrow 18,38 \text{ Kw}$

- **Carregamento** → $\gamma_{pi} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$

$$\text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{pi} \times H_{pi}}{\eta_{pi}} = \frac{9,81 \times \frac{0,05079175 \text{ m}^3}{\text{s}} \times 20,00 \text{ mca}}{\frac{85\%}{100\%}}$$

$$= 11,723931 \text{ kW}$$

$$\gamma_{pi} = \frac{11,723931 \text{ kW}}{18,38 \text{ kW}} = 0,6378$$

- **Rendimento nominal (%)** → $\eta_{npi} = 85 \%$

- **Rendimento no ponto de carregamento (%)** → $\eta_{pi} = 85\%$

- **Quantidade** → $q_{pi} = 1 \text{ unidade}$

- **Potência instalada (kW)** → $P_{pi} = \frac{p_{pi} \times 0,736 \times q_{pi} \text{ (kW)}}{\eta_{pi}/100} =$

$$\frac{25 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{85\%/100\%} = 21,64705882 \text{ kW}$$

- **Potência média utilizada (kW)** → $P_{upi} = \frac{P_{pi} \times \gamma_{pi}}{\eta_{npi}/\eta_{pi}} = \frac{21,64705882 \text{ kW} \times 0,6378}{85\%/85\%} = 13,8061 \text{ kW}$

- **Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1)** → $FCP_{pi} = \text{adotar "1"}$

- **Consumo de energia (kWh/ano)** → $E_{pi} = P_{upi} \times h_{pi} = 13,8061 \text{ kW} \times 652,9166667 \text{ horas}$
 $= 9014,23 \text{ kWh/ano}$

- **Energia consumida (MWh/ano)** → $E_{pi} = \frac{P_{upi} \times h_{pi}}{1000} = \frac{13,8061 \text{ kW} \times 652,9166667 \text{ horas}}{1000} = 9,01$
MWh/ano

- **Demanda média na ponta (kW)** → $D_{pi} = P_{upi} \times FCP_{pi} = 13,8061 \text{ kW} \times 1 = 13,81 \text{ kW}$

1.2.2) BOMBA EAT-001

- Volume recalado (média) = 60667,66667 m³

- Horas de funcionamento da bomba (média) → h_{pi} = 398,0833333 horas

- Vazão (m³/s) → $Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{60667,66667 \text{ m}^3}{398,0833333 \text{ h} \times 3600 \text{ s}} = 0,04233317 \text{ m}^3/\text{s}$

- Vazão (m³/h) → $Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{60667,66667 \text{ m}^3}{398,0833333 \text{ h}} = 152,39941386 \text{ m}^3/\text{h}$

- Altura manométrica (mca) → H_{pi} = 20,00 mca

- Potência nominal do motor (CV) → p_{pi} = 15 CV → 1 Kw = 1,36 CV → 11,03 Kw

- Carregamento → $\gamma_{pi} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$

$$\text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{pi} \times H_{pi}}{\eta_{pi}} = \frac{9,81 \times \frac{0,04233317 \text{ m}^3}{\text{s}} \times 20,00 \text{ mca}}{\frac{83\%}{100\%}} = 10,00694934 \text{ kW}$$

$$\gamma_{pi} = \frac{10,00694934 \text{ kW}}{11,03 \text{ kW}} = 0,9073$$

- Rendimento nominal (%) → $\eta_{npi} = 83\%$

- Rendimento no ponto de carregamento (%) → $\eta_{pi} = 83\%$

- Quantidade → q_{pi} = 1 unidade

- Potência instalada (kW) → $P_{pi} = \frac{p_{pi} \times 0,736 \times q_{pi} \text{ (kW)}}{\eta_{pi}/100} =$

$$\frac{15 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{83\%/100\%} = 13,30120482 \text{ kW}$$

- Potência média utilizada (kW) → $P_{upi} = \frac{P_{pi} \times \gamma_{pi}}{\eta_{npi}/\eta_{pi}} = \frac{13,30120482 \text{ kW} \times 0,9073}{83\%/83\%} = 12,0682 \text{ kW}$

- Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1) → FCP_{pi} = adotar "0,50"

- Consumo de energia (kWh/ano) → E_{pi} = P_{upi} x h_{pi} = 12,0682 kW x 398,08 horas = 4.804,12 kWh/ano

- Energia consumida (MWh/ano) → $E_{pi} = \frac{P_{upi} \times h_{pi}}{1000} = \frac{12,0682 \text{ kW} \times 398,08 \text{ horas}}{1000} = 4,80$
MWh/ano

- Demanda média na ponta (kW) → D_{pi} = P_{upi} x FCP_{pi} = 12,0682 kW x 0,50 = 6,03 kW

1.2.3) BOMBA EAT-002

- **Volume recalcado (média) = 85579,91667 m³**

- **Horas de funcionamento da bomba (média) → $h_{ai} = 528,2500000$ horas**

- **Vazão (m³/s) → $Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{85579,91667 \text{ m}^3}{528,2500000 \text{ h} \times 3600 \text{ s}} = 0,04500180 \text{ m}^3/\text{s}$**

- **Vazão (m³/h) → $Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{85579,91667 \text{ m}^3}{528,2500000 \text{ h}} = 162,00646790 \text{ m}^3/\text{h}$**

- **Altura manométrica (mca) → $H_{pi} = 41,00$ mca**

- **Potência nominal do motor (CV) → $p_{pi} = 35 \text{ CV} \rightarrow 1 \text{ Kw} = 1,36 \text{ CV} \rightarrow 25,74 \text{ Kw}$**

- **Carregamento → $\gamma_{pi} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$**

$$\text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{pi} \times H_{pi}}{\eta_{pi}} = \frac{9,81 \times \frac{0,04500180 \text{ m}^3}{\text{s}} \times 41,00 \text{ mca}}{\frac{78\%}{100\%}} = 23,20535125 \text{ kW}$$

$$\gamma_{pi} = \frac{23,20535125 \text{ kW}}{25,74 \text{ kW}} = 0,901528797$$

- **Rendimento nominal (%) → $\eta_{npi} = 78 \%$**

- **Rendimento no ponto de carregamento (%) → $\eta_{pi} = 78\%$**

- **Quantidade → $q_{pi} = 1$ unidade**

- **Potência instalada (kW) → $P_{pi} = \frac{p_{pi} \times 0,736 \times q_{pi} \text{ (kW)}}{\eta_{pi}/100} =$**

$$\frac{35 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{78\%/100\%} = 33,02564103 \text{ kW}$$

- **Potência média utilizada (kW) → $P_{upi} = \frac{P_{pi} \times \gamma_{pi}}{\eta_{npi}/\eta_{pi}} = \frac{33,02564103 \text{ kW} \times 0,901528797}{78\%/78\%} =$**

$$29,77356645 \text{ kW}$$

- **Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1) → $FCP_{pi} = \text{adotar "1"}$**

- **Consumo de energia (kWh/ano) → $E_{pi} = P_{upi} \times h_{pi} = 29,77356645 \text{ kW} \times 528,2500000$ horas = 15730 kWh/ano**

- **Energia consumida (MWh/ano) → $E_{pi} = \frac{P_{upi} \times h_{pi}}{1000} = \frac{29,77356645 \text{ kW} \times 528,25 \text{ horas}}{1000} = 15,73$**

MWh/ano

- **Demanda média na ponta (kW) → $D_{pi} = P_{upi} \times FCP_{pi} = 29,77356645 \text{ kW} \times 1 = 29,77$**

Kw

1.2.4) BOMBA EAT-003

- Volume recalcado (média) = 14833,16667 m³

- Horas de funcionamento da bomba (média) → h_{pi} = 703,9166667 horas

- Vazão (m³/s) → $Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{14833,16667 \text{ m}^3}{703,9166667 \text{ h} \times 3600 \text{ s}} = 0,00585343 \text{ m}^3/\text{s}$

- Vazão (m³/h) → $Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{14833,16667 \text{ m}^3}{703,9166667 \text{ h}} = 21,07233337 \text{ m}^3/\text{h}$

- Altura manométrica (mca) → H_{pi} = 23,50 mca

- Potência nominal do motor (CV) → p_{pi} = 3,5 CV → 1 Kw = 1,36 CV → 2,573529412 Kw

- Carregamento → $\gamma_{pi} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$

$$\text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{pi} \times H_{pi}}{\eta_{pi}} = \frac{9,81 \times \frac{0,00585343 \text{ m}^3}{\text{s}} \times 23,50 \text{ mca}}{\frac{72\%}{100\%}} = 1,874195118 \text{ kW}$$

$$\gamma_{pi} = \frac{1,874195118 \text{ kW}}{2,573529412 \text{ kW}} = 0,728258$$

- Rendimento nominal (%) → $\eta_{npi} = 72 \%$

- Rendimento no ponto de carregamento (%) → $\eta_{pi} = 72\%$

- Quantidade → q_{pi} = 1 unidade

- Potência instalada (kW) → $P_{pi} = \frac{p_{pi} \times 0,736 \times q_{pi} \text{ (kW)}}{\eta_{pi}/100} =$

$$\frac{3,5 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{72\%/100\%} = 3,57777778 \text{ kW}$$

- Potência média utilizada (kW) → $P_{upi} = \frac{P_{pi} \times \gamma_{pi}}{\eta_{npi}/\eta_{pi}} = \frac{3,57777778 \text{ kW} \times 0,728258}{72\%/72\%} =$

$$2,605545 \text{ kW}$$

- Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1) → FCP_{pi} = adotar "1"

- Consumo de energia (kWh/ano) → E_{pi} = P_{upi} × h_{pi} = 2,605545 kW × 703,9166667 horas = 1834,09 kWh/ano

- Energia consumida (MWh/ano) → E_{pi} = $\frac{P_{upi} \times h_{pi}}{1000} = \frac{2,605545 \text{ kW} \times 703,9166667 \text{ horas}}{1000} = 1,83$

MWh/ano

- Demanda média na ponta (kW) $\rightarrow D_{pi} = P_{upi} \times FCP_{pi} = 2,605545 \text{ kW} \times 1 = 2,61 \text{ Kw}$

SISTEMA PROPOSTO						
Descrição / unidade		Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL
		Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP-001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)	
		Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003	
Vazão média (m ³ /s)	Q_{pi}	0,05	0,04	0,05	0,01	
Vazão média (m ³ /h)	Q_{pi}	182,85	152,40	162,01	21,07	
Altura manométrica média (mca)	H_{pi}	20,00	20,00	41,00	23,50	
Potência nominal do motor (cv)	p_{pi}	25,00	15,00	35,00	3,50	
Carregamento	γ_{pi}	0,64	0,91	0,90	0,73	
Rendimento nominal (%)	η_{mpi}	85,00	83,00	78,00	72,00	
Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{pi}	85,00	83,00	78,00	72,00	
Quantidade	q_{pi}	1,00	1,00	1,00	1,00	
Potência instalada (kW)	$P_{pi}=(p_{pi} \times 0,736 \times q_{pi})/\eta_{mpi}$	21,65	13,30	33,03	3,58	
Potência média utilizada (kW)	$P_{upi}=P_{pi} \times \gamma_{pi} \times (\eta_{mpi}/\eta_{pi})$	13,81	12,07	29,78	2,61	
Funcionamento (h/ano)	h_{pi}	652,92	398,08	528,25	703,92	
FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{pi}	1,00	0,50	1,00	1,00	
Consumo de energia produção (KWh/ano) ou Consumo de energia distribuição (KWh/ano)	$E_{pi}=(P_{upi} \times h_{pi})$	9014,23	4804,13	15730,76	1834,09	
Energia consumida (MWh/ano)	$E_{pi}=(P_{upi} \times h_{pi})/1000$	9,01	4,80	15,73	1,83	31,38
Demanda média na ponta (kW)	$D_{pi}=P_{upi} \times FCP_{pi}$	13,81	6,03	29,78	2,61	52,22

1.2.5) CÁLCULO DA EFICIÊNCIA ELETROMECHANICA EM INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS (SISTEMA PROPOSTO)

1.2.5.1) BOMBA EAB-001

- Volume recalcado (média) $\rightarrow 119386,00 \text{ m}^3$

- Altura manométrica $\rightarrow 20,00 \text{ mca}$

- Energia consumida $\rightarrow 9014,23 \text{ kWh}$

- Indicador CEN $\rightarrow CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{9014,23 \times 100}{119386,00 \times 20} = 0,377524584 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \times 100\text{m})$

- Eficiência energética $\rightarrow \eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,377524584} = 72,18 \%$

- Avaliação do rendimento da bomba \rightarrow Operação eficiente

** Um valor bom para este indicador é entre 0,27 e 0,40 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias entre 68% e 100%).

1.2.5.2) BOMBA EAT-001

- Volume recalcado (média) $\rightarrow 60667,67 \text{ m}^3$

- Altura manométrica $\rightarrow 20,00 \text{ mca}$

- Energia consumida → 4804,13 kWh

- Indicador CEN → $CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{4804,13 \times 100}{60667,67 \times 20} = 0,395938232 \text{ kWh}/(m^3 \times 100m)$

- Eficiência energética → $\eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,395938232} = 68,82 \%$

- Avaliação do rendimento da bomba → Operação eficiente

** Um valor bom para este indicador é entre 0,27 e 0,40 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias entre 68% e 100%).

1.2.5.3) BOMBA EAT-002

- Volume recalado (média) → 85579,92 m³

- Altura manométrica → 41,00 mca

- Energia consumida → 15730,76 kWh

- Indicador CEN → $CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{15730,76 \times 100}{85579,92 \times 41} = 0,448326048 \text{ kWh}/(m^3 \times 100m)$

- Eficiência energética → $\eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,448326048} = 60,78 \%$

- Avaliação do rendimento da bomba → Operação como eficiência média

** Um valor mediano encontra-se entre 0,40 e 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias entre 50% e 68%).

1.2.5.4) BOMBA EAT-003

- Volume recalado (média) → 14833,17 m³

- Altura manométrica → 23,50 mca

- Energia consumida → 1834,09 kWh

- Indicador CEN → $CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{1834,09 \times 100}{14833,17 \times 23,50} = 0,526161185 \text{ kWh}/(m^3 \times 100m)$

- Eficiência energética → $\eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,526161185} = 51,79 \%$

- Avaliação do rendimento da bomba → Operação como eficiência média

** Um valor mediano encontra-se entre 0,40 e 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias entre 50% e 68%).

SISTEMA PROPOSTO				
Descrição	Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04
	Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP-001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)
	Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003
Volume recalcado (média) - m ³	119386,00	60667,67	85579,92	14833,17
Altura manométrica - Hmt	20,00	20,00	41,00	23,50
Energia consumida - kWh	9014,23	4804,13	15730,76	1834,09
CEN / Ph5 (kWh/m ³ x100m)	0,38	0,40	0,45	0,53
Eficiência energética - η (%)	72,18	68,82	60,78	51,79
Avaliação do rendimento da bomba	Operação eficiente	Operação eficiente	Operação como eficiência média	Operação como eficiência média

1.3) RESULTADOS ESPERADOS

1.3.1) BOMBA EAB-001

- Redução de demanda na ponta (kW)

$$D_{ai} = 16,40 \text{ kW}$$

$$D_{pi} = 13,81 \text{ kW}$$

$$RD_{Pi} = D_{ai} - D_{pi}$$

$$RD_{Pi} = 16,40 - 13,81 \rightarrow \underline{2,59 \text{ Kw}}$$

- Redução de demanda na ponta (%)

$$RD_{Pi} = 2,59 \text{ kW}$$

$$D_{ai} = 16,40 \text{ Kw}$$

$$RDP \% = (RD_{Pi} / D_{ai}) \times 100$$

$$RDP \% = (2,59 / 16,40) \times 100 \rightarrow \underline{15,79 \%}$$

- Energia economizada (MWh/ano)

$$E_{ai} = 10,70 \text{ MWh/ano}$$

$$E_{pi} = 9,01 \text{ MWh/ano}$$

$$EEi = E_{ai} - E_{pi}$$

$$EEi = 10,70 - 9,01 \rightarrow \underline{1,69 \text{ MWh/ano}}$$

- Energia economizada (%)

$$EEi = 1,69 \text{ MWh/ano}$$

$$Eai = 10,70 \text{ MWh/ano}$$

$$EE \% = EEi / Eai) \times 100$$

$$EE \% = (1,69 / 10,70) \times 100 \rightarrow \underline{15,79 \%}$$

1.3.2) BOMBA EAT-001

- Redução de demanda na ponta (kW)

$$Dai = 10,53 \text{ kW}$$

$$Dpi = 6,03 \text{ kW}$$

$$RDPI = Dai - Dpi$$

$$RDPI = 10,53 - 6,03 \rightarrow \underline{4,5 \text{ Kw}}$$

- Redução de demanda na ponta (%)

$$RDPI = 4,50 \text{ kW}$$

$$Dai = 10,53 \text{ Kw}$$

$$RDP \% = RDPI / Dai) \times 100$$

$$RDP \% = (4,50 / 10,53) \times 100 \rightarrow \underline{42,74 \%}$$

- Energia economizada (MWh/ano)

$$Eai = 8,34 \text{ MWh/ano}$$

$$Epi = 4,80 \text{ MWh/ano}$$

$$EEi = Eai - Epi$$

$$EEi = 8,34 - 4,80 \rightarrow \underline{3,5 \text{ MWh/ano}}$$

- Energia economizada (%)

$$EEi = 3,5 \text{ MWh/ano}$$

$$Eai = 8,34 \text{ MWh/ano}$$

$$EE \% = EEi / Eai) \times 100$$

$$EE \% = (3,5 / 8,34) \times 100 \rightarrow \underline{42 \%}$$

1.3.3) BOMBA EAT-002

- Redução de demanda na ponta (kW)

$$Dai = 32,21 \text{ kW}$$

$$Dpi = 29,78 \text{ kW}$$

$$RDPI = Dai - Dpi$$

$$RDPI = 32,21 - 29,78 \rightarrow \underline{2,43 \text{ Kw}}$$

- Redução de demanda na ponta (%)

$$RDPI = 2,43 \text{ kW}$$

$$Dai = 32,21 \text{ Kw}$$

$$RDP \% = RDPI / Dai) \times 100$$

$$RDP \% = (2,43 / 32,21) \times 100 \rightarrow \underline{7,54 \%}$$

- Energia economizada (MWh/ano)

$$Eai = 17,01 \text{ MWh/ano}$$

$$Epi = 15,73 \text{ MWh/ano}$$

$$EEi = Eai - Epi$$

$$EEi = 17,01 - 15,73 \rightarrow \underline{1,28 \text{ MWh/ano}}$$

- Energia economizada (%)

$$EEi = 1,28 \text{ MWh/ano}$$

$$Eai = 17,01 \text{ MWh/ano}$$

$$EE \% = EEi / Eai) \times 100$$

$$EE \% = (1,28 / 17,01) \times 100 \rightarrow \underline{7,5 \%}$$

1.3.4) BOMBA EAT-003

- Redução de demanda na ponta (kW)

$$Dai = 2,92 \text{ kW}$$

$$Dpi = 2,61 \text{ kW}$$

$$RDPI = Dai - Dpi$$

$$RDPI = 2,92 - 2,61 \rightarrow \underline{0,31 \text{ Kw}}$$

- Redução de demanda na ponta (%)

$$RDPI = 0,31 \text{ kW}$$

$$Dai = 2,92 \text{ Kw}$$

$$RDP \% = RDPI / Dai) \times 100$$

$$RDP \% = (0,31 / 2,92) \times 100 \rightarrow \underline{10,62 \%}$$

- Energia economizada (MWh/ano)

$$Eai = 2,06 \text{ MWh/ano}$$

$$Epi = 1,83 \text{ MWh/ano}$$

$$EEi = Eai - Epi$$

$$EEi = 2,06 - 1,83 \rightarrow \underline{0,23 \text{ MWh/ano}}$$

- Energia economizada (%)

$$EEi = 0,23 \text{ MWh/ano}$$

$$E_{ai} = 2,06 \text{ MWh/ano}$$

$$EE \% = EE_i / E_{ai} \times 100$$

$$EE \% = (0,23 / 2,06) \times 100 \rightarrow \underline{11,2 \%}$$

1.3.5) TOTAL ECONOMIZADO

- Redução de demanda na ponta (kW) $\rightarrow 2,59 + 4,5 + 2,43 + 0,31 = \underline{9,8 \text{ Kw}}$

- Redução de demanda na ponta (%) $\rightarrow 15,79 + 42,74 + 7,54 + 10,62 = \underline{76,8 \%}$

- Energia economizada (MWh/ano) $\rightarrow 1,69 + 3,5 + 1,28 + 0,23 = \underline{6,7 \text{ MWh/ano}}$

- Energia economizada (%) $\rightarrow 15,79 + 42 + 7,5 + 11,2 = \underline{76,5 \%}$

RESULTADOS ESPERADOS						
Descrição / unidade	Cálculo (fórmulas)	Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL ECONOMIZADO
		Região Cerâmica Baiazinha Bomba EAB-001	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP- Bomba EAT-001	Região Cerâmica Baiazinha Bomba EAT-002	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004) Bomba EAT-003	
Redução de demanda na ponta (KW)	$RDP_i = D_{ai} - D_{pi}$	2,6	4,5	2,4	0,3	9,8
Redução de demanda na ponta (%)	$RDP\% = RDP_i / D_{ai} \times 100$	15,8	42,7	7,5	10,8	76,8
Energia economizada (MWh/ano)	$EE_i = E_{ai} - E_{pi}$	1,7	3,5	1,3	0,2	6,7
Energia economizada (%)	$EE\% = EE_i / E_{ai} \times 100$	15,8	42,4	7,5	10,8	76,5

2) Cenário 03 - Eficiência energética e melhoria operacional dos sistemas de água de Miranda/MS:

2.1) CÁLCULO - SISTEMA ATUAL

2.1.1) BOMBA EAB-001

- Volume recalcado (média) = 119.386,00 m³

- Horas de funcionamento da bomba (média) $\rightarrow h_{ai} = 652,9166667 \text{ horas}$

- Vazão (m³/s) $\rightarrow Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{119.386,00 \text{ m}^3}{652,9166667 \text{ h} \times 3600 \text{ s}} = 0,05079175 \text{ m}^3/\text{s}$

- Vazão (m³/h) $\rightarrow Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{119.386,00 \text{ m}^3}{652,9166667 \text{ h}} = 182,85028717 \text{ m}^3/\text{h}$

- Altura manométrica (mca) $\rightarrow H_{ai} = 20,00 \text{ mca}$

- **Potência nominal do motor (CV)** → $p_{ai} = 30 \text{ CV} \rightarrow 1 \text{ kW} = 1,36 \text{ CV} \rightarrow 22,06 \text{ kW}$

- **Carregamento** → $\gamma_{ai} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$

$$\text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{ai} \times H_{ai}}{\eta_{ai}} = \frac{9,81 \times \frac{0,05079175 \text{ m}^3}{\text{s}} \times 20,00 \text{ mca}}{\frac{78\%}{100\%}}$$

$$= 12,77607865 \text{ kW}$$

$$\gamma_{ai} = \frac{12,77607865 \text{ kW}}{22,06 \text{ kW}} = 0,5792$$

- **Rendimento nominal (%)** → $\eta_{nai} = 78 \%$

- **Rendimento no ponto de carregamento (%)** → $\eta_{ai} = 78\%$

- **Quantidade** → $q_{ai} = 1 \text{ unidade}$

- **Potência instalada (kW)** → $P_{ai} = \frac{p_{ai} \times 0,736 \times q_{ai} \text{ (kW)}}{\eta_{ai}/100} =$

$$\frac{30 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{78\%/100\%} = 28,30769231 \text{ kW}$$

- **Potência média utilizada (kW)** → $P_{uai} = \frac{P_{ai} \times \gamma_{ai}}{\eta_{nai}/\eta_{ai}} = \frac{28,30769231 \text{ kW} \times 0,5792}{78\%/78\%} = 16,395 \text{ kW}$

- **Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1)** → $FCP_{ai} = \text{adotar "1"}$

- **Consumo de energia (kWh/ano)** → $E_{ai} = P_{uai} \times h_{ai} = 16,395 \text{ kW} \times 652,9166667 \text{ horas} = 10.704,77 \text{ kWh/ano}$

- **Energia consumida (MWh/ano)** → $E_{ai} = \frac{P_{uai} \times h_{ai}}{1000} = \frac{16,395 \text{ kW} \times 652,9166667 \text{ horas}}{1000} = 10,70 \text{ MWh/ano}$

- **Demanda média na ponta (kW)** → $D_{ai} = P_{uai} \times FCP_{ai} = 16,395 \text{ kW} \times 1 = 16,40 \text{ kW}$

2.1.2) BOMBA EAT-001

- **Volume recalcado (média)** = $60667,66667 \text{ m}^3$

- **Horas de funcionamento da bomba (média)** → $h_{ai} = 398,0833333 \text{ horas}$

- **Vazão (m³/s)** $\rightarrow Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{60667,66667 \text{ m}^3}{398,0833333 \text{ h} \times 3600 \text{ s}} = 0,04233317 \text{ m}^3/\text{s}$ - **Vazão (m³/h)** \rightarrow

$$Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{60667,66667 \text{ m}^3}{398,0833333 \text{ h}} = 152,39941386 \text{ m}^3/\text{h}$$

- **Altura manométrica (mca)** $\rightarrow H_{ai} = 20,00 \text{ mca}$

- **Potência nominal do motor (CV)** $\rightarrow p_{ai} = 25 \text{ CV} \rightarrow 1 \text{ Kw} = 1,36 \text{ CV} \rightarrow 18,38 \text{ Kw}$

- **Carregamento** $\rightarrow \gamma_{ai} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}} \quad \text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{ai} \times H_{ai}}{\eta_{ai}} =$

$$\frac{9,81 \times \frac{0,0423331 \text{ m}^3}{\text{s}} \times 20,00 \text{ mca}}{\frac{63\%}{100\%}} = 13,18375866 \text{ kW}$$

$$\gamma_{ai} = \frac{13,18375866 \text{ kW}}{18,38 \text{ kW}} = 0,71719648$$

- **Rendimento nominal (%)** $\rightarrow \eta_{nai} = 63 \%$ - **Rendimento no ponto de carregamento (%)** $\rightarrow \eta_{ai} = 63\%$

- **Quantidade** $\rightarrow q_{ai} = 1 \text{ unidade}$

- **Potência instalada (kW)** $\rightarrow P_{ai} = \frac{p_{ai} \times 0,736 \times q_{ai} \text{ (kW)}}{\eta_{ai}/100} =$

$$\frac{25 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{63\%/100\%} = 29,20634921 \text{ kW}$$

- **Potência média utilizada (kW)** $\rightarrow P_{uai} = \frac{P_{ai} \times \gamma_{ai}}{\eta_{nai}/\eta_{ai}} = \frac{29,20634921 \text{ kW} \times 0,71719648}{63\%/63\%} =$

$$20,94669084 \text{ kW}$$

- **Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1)** $\rightarrow FCP_{ai} = \text{adotar "0,50"}$

- **Consumo de energia (kWh/ano)** $\rightarrow E_{ai} = P_{uai} \times h_{ai} = 20,94669084 \text{ kW} \times 398,0833333$

horas = 8.338,53 kWh/ano- **Energia consumida (MWh/ano)** $\rightarrow E_{ai} = \frac{P_{uai} \times h_{ai}}{1000} =$

$$\frac{20,95 \text{ kW} \times 398,08 \text{ horas}}{1000} = 8,34 \text{ MWh/ano}$$

- **Demanda média na ponta (kW)** $\rightarrow D_{ai} = P_{uai} \times FCP_{ai} = 20,94669084 \text{ kW} \times 0,50 = 10,47 \text{ kW}$

2.1.3) BOMBA EAT-002

- **Volume recalcado (média)** = 85579,91667 m³

- **Horas de funcionamento da bomba (média)** $\rightarrow h_{ai} = 528,2500000 \text{ horas}$

- **Vazão (m³/s)** $\rightarrow Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{85579,91667 \text{ m}^3}{528,2500000 \text{ h} \times 3600 \text{ s}} = 0,04500180 \text{ m}^3/\text{s}$

- **Vazão (m³/h)** $\rightarrow Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{85579,91667 \text{ m}^3}{528,2500000 \text{ h}} = 162,00646790 \text{ m}^3/\text{h}$

- **Altura manométrica (mca)** $\rightarrow H_{ai} = 41,00 \text{ mca}$

- **Potência nominal do motor (CV)** $\rightarrow p_{ai} = 50 \text{ CV} \rightarrow 1 \text{ Kw} = 1,36 \text{ CV} \rightarrow 36,76 \text{ Kw}$

- **Carregamento** $\rightarrow \gamma_{ai} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$

$$\text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{ai} \times H_{ai}}{\eta_{ai}} = \frac{9,81 \times \frac{0,04500180 \text{ m}^3}{\text{s}} \times 41,00 \text{ mca}}{\frac{75\%}{100\%}} = 24,1335653 \text{ kW}$$

$$\gamma_{ai} = \frac{24,1335653 \text{ kW}}{36,76 \text{ kW}} = 0,65643293$$

- **Rendimento nominal (%)** $\rightarrow \eta_{nai} = 75 \%$

- **Rendimento no ponto de carregamento (%)** $\rightarrow \eta_{ai} = 75\%$

- **Quantidade** $\rightarrow q_{ai} = 1 \text{ unidade}$

- **Potência instalada (kW)** $\rightarrow P_{ai} = \frac{p_{ai} \times 0,736 \times q_{ai} \text{ (kW)}}{\eta_{ai}/100} = \frac{50 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{75\%/100\%} = 49,06666667 \text{ kW}$

- **Potência média utilizada (kW)** $\rightarrow P_{uai} = \frac{P_{ai} \times \gamma_{ai}}{\eta_{nai}/\eta_{ai}} = \frac{49,06666667 \text{ kW} \times 0,65643293}{75\%/75\%} = 32,20897563 \text{ kW}$

- **Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1)** $\rightarrow F_{CPai} = \text{adotar "1"}$

- **Consumo de energia (kWh/ano)** $\rightarrow E_{ai} = P_{uai} \times h_{ai} = 32,20897563 \text{ kW} \times 528,2500000 \text{ horas} = 17014,39 \text{ kWh/ano}$

- **Energia consumida (MWh/ano)** $\rightarrow E_{ai} = \frac{P_{uai} \times h_{ai}}{1000} = \frac{32,20897563 \text{ kW} \times 528,25 \text{ horas}}{1000} = 17,01 \text{ MWh/ano}$

- **Demanda média na ponta (kW)** $\rightarrow D_{ai} = P_{uai} \times F_{CPai} = 32,20897563 \text{ kW} \times 1 = 32,21 \text{ kW}$

2.1.4) BOMBA EAT-003

- **Volume recalcado (média)** = 14833,16667 m³

- **Horas de funcionamento da bomba (média)** $\rightarrow h_{ai} = 703,9166667 \text{ horas}$

- **Vazão (m³/s)** → $Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{14833,16667 \text{ m}^3}{703,9166667 \text{ h} \times 3600 \text{ s}} = 0,00585343 \text{ m}^3/\text{s}$

- **Vazão (m³/h)** → $Q_{ai} = \frac{V}{t} \rightarrow = \frac{14833,16667 \text{ m}^3}{703,9166667 \text{ h}} = 21,07233337 \text{ m}^3/\text{h}$

- **Altura manométrica (mca)** → $H_{ai} = 23,50 \text{ mca}$

- **Potência nominal do motor (CV)** → $p_{ai} = 4,5 \text{ CV} \rightarrow 1 \text{ Kw} = 1,36 \text{ CV} \rightarrow 3,308823529 \text{ Kw}$

- **Carregamento** → $\gamma_{ai} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$

$$\text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{ai} \times H_{ai}}{\eta_{ai}} = \frac{9,81 \times \frac{0,00585343^3}{\frac{68\%}{100\%}} \times 23,50 \text{ mca}}{\frac{68\%}{100\%}} = 1,98444189 \text{ kW}$$

$$\gamma_{ai} = \frac{1,98444189 \text{ kW}}{3,308823529 \text{ kW}} = 0,599742$$

- **Rendimento nominal (%)** → $\eta_{nai} = 68 \%$

- **Rendimento no ponto de carregamento (%)** → $\eta_{ai} = 68\%$

- **Quantidade** → $q_{ai} = 1 \text{ unidade}$

- **Potência instalada (kW)** → $P_{ai} = \frac{p_{ai} \times 0,736 \times q_{ai} \text{ (kW)}}{\eta_{nai}/100} = \frac{4,5 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{68\%/100\%} = 4,87058824 \text{ kW}$

- **Potência média utilizada (kW)** → $P_{uai} = \frac{P_{ai} \times \gamma_{ai}}{\eta_{nai}/\eta_{ai}} = \frac{4,87058824 \text{ kW} \times 0,599742}{68\%/68\%} = 2,921096 \text{ kW}$

- **Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1)** → $FCP_{ai} = \text{adotar "1"}$

- **Consumo de energia (kWh/ano)** → $E_{ai} = P_{uai} \times h_{ai} = 2,921096 \text{ kW} \times 703,9166667 \text{ horas} = 2056,21 \text{ kWh/ano}$

- **Energia consumida (MWh/ano)** → $E_{ai} = \frac{P_{uai} \times h_{ai}}{1000} = \frac{2,921096 \text{ kW} \times 703,9166667 \text{ horas}}{1000} = 2,06 \text{ MWh/ano}$

- **Demanda média na ponta (kW)** → $D_{ai} = P_{uai} \times FCP_{ai} = 2,921096 \text{ kW} \times 1 = 2,92 \text{ kW}$

SISTEMA ATUAL						
Descrição / unidade		Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL
		Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP- 001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)	
		Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003	
Vazão média (m3/s)	Q_{ai}	0,05	0,04	0,05	0,01	
Vazão média (m3/h)	Q_{ai}	182,85	152,40	162,01	21,07	
Altura manométrica média (mca)	H_{ai}	20,00	20,00	41,00	23,50	
Potência nominal do motor (cv)	p_{ai}	30	25	50	4,5	
Carregamento	y_{ai}	0,58	0,72	0,66	0,60	
Rendimento nominal (%)	η_{nai}	78,00	63,00	75,00	68,00	
Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{ai}	78,00	63,00	75,00	68,00	
Quantidade	q_{ai}	1,00	1,00	1,00	1,00	
Potência instalada (kW)	$P_{ai} = \{p_{ai} \cdot 0,736 \cdot q_{ai}\} / (\eta_{nai} / 100)$	28,31	29,21	49,07	4,87	
Potência média utilizada (kW)	$P_{uai} = P_{ai} \cdot y_{ai} \cdot (\eta_{nai} / \eta_{ai})$	16,40	20,95	32,21	2,92	
Funcionamento (h/ano)	h_{ai}	652,92	398,08	528,25	703,92	
FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{ai}	1,00	0,50	1,00	1,00	
Consumo de energia produção (KWh/ano) ou Consumo de energia distribuição (KWh/ano)	$E_{ai} = \{P_{uai} \cdot h_{ai}\}$	10704,77	8338,53	17014,39	2056,21	
Energia consumida (MWh/ano)	$E_{ai} = \{P_{uai} \cdot h_{ai}\} / 1000$	10,70	8,34	17,01	2,06	45,31
Demanda média na ponta (kW)	$D_{ai} = P_{uai} \cdot FCP_{ai}$	16,40	10,53	32,21	2,92	74,32

2.1.5) CÁLCULO DA EFICIÊNCIA ELETROMECCÂNICA EM INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS (SISTEMA ATUAL)

2.1.5.1) BOMBA EAB-001

- Volume recalcado (média) → 119386,00 m³

- Altura manométrica → 20,00 mca

- Energia consumida → 10704,77 kWh

- Indicador CEN → $CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{10704,77 \times 100}{119386,00 \times 20} = 0,448326018 \text{ kWh}/(m^3 \times 100m)$

- Eficiência energética → $\eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,448326018} = 60,78 \%$

- Avaliação do rendimento da bomba → Operação como eficiência média

** Um valor mediano encontra-se entre 0,40 e 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias entre 50% e 68%).

2.1.5.2) BOMBA EAT-001

- Volume recalcado (média) → 60667,67 m³

- Altura manométrica → 20,00 mca

- Energia consumida → 8338,53 kWh

- Indicador CEN → $CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{8338,53 \times 100}{60667,67 \times 20} = 0,687237707 \text{ kWh}/(m^3 \times 100m)$

- **Eficiência energética** $\rightarrow \eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,687237707} = 39,65 \%$

- **Avaliação do rendimento da bomba** \rightarrow Operação ineficiente

** Valores insatisfatórios são superiores a 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias inferiores a 50 %).

2.1.5.3) BOMBA EAT-002

- **Volume recalcado (média)** \rightarrow 85579,92 m³

- **Altura manométrica** \rightarrow 41,00 mca

- **Energia consumida** \rightarrow 17014,39 kWh

- **Indicador CEN** $\rightarrow CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{17014,39 \times 100}{85579,92 \times 41} = 0,484909453 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \times 100\text{m})$

- **Eficiência energética** $\rightarrow \eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,484909453} = 56,20 \%$

- **Avaliação do rendimento da bomba** \rightarrow Operação como eficiência média

** Um valor mediano encontra-se entre 0,40 e 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias entre 50% e 68%).

2.1.5.4) BOMBA EAT-003

- **Volume recalcado (média)** \rightarrow 14833,17 m³

- **Altura manométrica** \rightarrow 23,50 mca

- **Energia consumida** \rightarrow 2056,21 kWh

- **Indicador CEN** $\rightarrow CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{2056,21 \times 100}{14833,17 \times 23,50} = 0,589882661 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \times 100\text{m})$

- **Eficiência energética** $\rightarrow \eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,589882661} = 46,20 \%$

- **Avaliação do rendimento da bomba** \rightarrow Operação ineficiente

** Valores insatisfatórios são superiores a 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias inferiores a 50 %).

SISTEMA ATUAL				
Descrição	Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04
	Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP-001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)
	Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003
Volume recalcado (média) - m ³	119386,00	60667,67	85579,92	14833,17
Altura manométrica - Hmt	20,00	20,00	41,00	23,50
Energia consumida - kWh	10704,77	8338,53	17014,39	2056,21
CEN / Ph5 (kWh/m ³ x100m)	0,45	0,69	0,48	0,59
Eficiência energética - η (%)	60,78	39,65	56,20	46,20
Avaliação do rendimento da bomba	Operação como eficiência média	Operação ineficiente	Operação como eficiência média	Operação ineficiente

2.2) CÁLCULO - SISTEMA PROPOSTO

2.2.1) BOMBA EAB-001

- Vazão (m³/h) → $Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = 182,85 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow$ os dados na simulação do software EPANET

- Vazão (m³/s) → $Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{182,85 \text{ m}^3}{3600\text{s}} = 0,050791666 \text{ m}^3/\text{s}$

- Horas de funcionamento da bomba (média) → $h_{pi} = 652,9166667$ horas (adotar)

- Altura manométrica (mca) → $H_{pi} = 20,00$ mca

- Potência nominal do motor (CV) → $p_{pi} = 25 \text{ CV} \rightarrow 1 \text{ Kw} = 1,36 \text{ CV} \rightarrow 18,38 \text{ Kw}$

- Carregamento → $\gamma_{pi} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$

$$\text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{pi} \times H_{pi}}{\eta_{pi}} = \frac{9,81 \times \frac{0,050791666 \text{ m}^3}{\text{s}} \times 20,00 \text{ mca}}{\frac{82\%}{100\%}}$$

$$= 12,15285529 \text{ kW}$$

$$\gamma_{pi} = \frac{12,15285529 \text{ kW}}{18,38 \text{ kW}} = 0,661199961$$

- Rendimento nominal (%) → $\eta_{npi} = 82\%$

- Rendimento no ponto de carregamento (%) → $\eta_{pi} = 82\%$

- Quantidade → $q_{pi} = 1$ unidade

- **Potência instalada (kW)** $\rightarrow P_{pi} = \frac{ppi \times 0,736 \times q_{pi} \text{ (kW)}}{\eta_{pi}/100} = \frac{25 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{82\%/100\%} = 22,43902439 \text{ kW}$
- **Potência média utilizada (kW)** $\rightarrow P_{upi} = \frac{P_{pi} \times \gamma_{pi}}{\eta_{npi}/\eta_{pi}} = \frac{22,43902439 \text{ kW} \times 0,661199961}{82\%/82\%} = 14,83668205 \text{ kW}$
- **Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1)** $\rightarrow FCP_{pi} = \frac{h_{pi}}{792} \rightarrow \frac{652,92}{792} \rightarrow 0,82$
- **Consumo de energia (kWh/ano)** $\rightarrow E_{pi} = P_{upi} \times h_{pi} = 14,83 \text{ kW} \times 652,9166667 \text{ horas} = 9687,12 \text{ kWh/ano}$
- **Energia consumida (MWh/ano)** $\rightarrow E_{pi} = \frac{P_{upi} \times h_{pi}}{1000} = \frac{14,83 \text{ kW} \times 652,9166667 \text{ horas}}{1000} = 9,69 \text{ MWh/ano}$
- **Demanda média na ponta (kW)** $\rightarrow D_{pi} = P_{upi} \times FCP_{pi} = 14,83 \text{ kW} \times 0,82 = 12,2 \text{ kW}$

2.2.2) BOMBA EAT-001

- **Vazão (m³/h)** $\rightarrow Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = 126,00 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow$ os dados na simulação do software EPANET
 - **Vazão (m³/s)** $\rightarrow Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{126,00 \text{ m}^3}{3600s} = 0,035 \text{ m}^3/\text{s}$
 - **Horas de funcionamento da bomba (média)** $\rightarrow h_{pi} = 398,0833333 \text{ horas (adotar)}$
 - **Altura manométrica (mca)** $\rightarrow H_{pi} = 15,00 \text{ mca}$
 - **Potência nominal do motor (CV)** $\rightarrow p_{pi} = 15 \text{ CV} \rightarrow 1 \text{ Kw} = 1,36 \text{ CV} \rightarrow 11,03 \text{ Kw}$
 - **Carregamento** $\rightarrow \gamma_{pi} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$
- $$\text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{pi} \times H_{pi}}{\eta_{pi}} = \frac{9,81 \times \frac{0,035^3}{s} \times 15,00 \text{ mca}}{\frac{79\%}{100\%}} = 6,519303797 \text{ kW}$$
- $$\gamma_{pi} = \frac{6,519303797 \text{ kW}}{11,03 \text{ kW}} = 0,591052021$$
- **Rendimento nominal (%)** $\rightarrow \eta_{npi} = 79 \%$
 - **Rendimento no ponto de carregamento (%)** $\rightarrow \eta_{pi} = 79\%$
 - **Quantidade** $\rightarrow q_{pi} = 1 \text{ unidade}$

- **Potência instalada (kW)** $\rightarrow P_{pi} = \frac{ppi \times 0,736 \times q_{pi} \text{ (kW)}}{\eta_{pi}/100} = \frac{15 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{79\%/100\%} = 13,97468354 \text{ kW}$
- **Potência média utilizada (kW)** $\rightarrow P_{upi} = \frac{P_{pi} \times \gamma_{pi}}{\eta_{npi}/\eta_{pi}} = \frac{13,97468354 \text{ kW} \times 0,591052021}{79\%/79\%} = 8,259764949 \text{ kW}$
- **Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1)** $\rightarrow FCP_{pi} = \frac{h_{pi}}{792} \rightarrow \frac{398,0833333}{792} \rightarrow 0,50$
- **Consumo de energia (kWh/ano)** $\rightarrow E_{pi} = P_{upi} \times h_{pi} = 8,259764949 \text{ kW} \times 398,08 \text{ horas} = 3.288,05 \text{ kWh/ano}$
- **Energia consumida (MWh/ano)** $\rightarrow E_{pi} = \frac{P_{upi} \times h_{pi}}{1000} = \frac{8,259764949 \text{ kW} \times 398,08 \text{ horas}}{1000} = 3,29 \text{ MWh/ano}$
- **Demanda média na ponta (kW)** $\rightarrow D_{pi} = P_{upi} \times FCP_{pi} = 8,259764949 \text{ kW} \times 0,50 = 4,15 \text{ kW}$

2.2.3) BOMBA EAT-002

- **Vazão (m³/h)** $\rightarrow Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = 154,80 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow$ os dados na simulação do software EPANET
 - **Vazão (m³/s)** $\rightarrow Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{154,80 \text{ m}^3}{3600\text{s}} = 0,043 \text{ m}^3/\text{s}$
 - **Horas de funcionamento da bomba (média)** $\rightarrow h_{pi} = 528,25 \text{ horas (adotar)}$
 - **Altura manométrica (mca)** $\rightarrow H_{pi} = 41,00 \text{ mca}$
 - **Potência nominal do motor (CV)** $\rightarrow p_{pi} = 35 \text{ CV} \rightarrow 1 \text{ Kw} = 1,36 \text{ CV} \rightarrow 25,74 \text{ Kw}$
 - **Carregamento** $\rightarrow \gamma_{pi} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$
- $$\text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{pi} \times H_{pi}}{\eta_{pi}} = \frac{9,81 \times \frac{0,043^3}{\frac{76\%}{100\%}} \times 41,00 \text{ mca}}{\frac{76\%}{100\%}} = 22,75661842 \text{ kW}$$
- $$\gamma_{pi} = \frac{22,75661842 \text{ kW}}{25,74 \text{ kW}} = 0,884095509$$
- **Rendimento nominal (%)** $\rightarrow \eta_{npi} = 76 \%$
 - **Rendimento no ponto de carregamento (%)** $\rightarrow \eta_{pi} = 76\%$

- Quantidade $\rightarrow q_{pi} = 1$ unidade

- Potência instalada (kW) $\rightarrow P_{pi} = \frac{ppi \times 0,736 \times q_{pi} \text{ (kW)}}{\eta_{pi}/100} = \frac{35 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{76\%/100\%} = 33,89473684 \text{ kW}$

- Potência média utilizada (kW) $\rightarrow P_{upi} = \frac{P_{pi} \times \gamma_{pi}}{\eta_{npi}/\eta_{pi}} = \frac{33,89473684 \text{ kW} \times 0,884095509}{76\%/76\%} = 29,96618461 \text{ kW}$

- Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1) $\rightarrow FCP_{pi} = \frac{h_{pi}}{792} \rightarrow \frac{528,25}{792} \rightarrow 0,67$

- Consumo de energia (kWh/ano) $\rightarrow E_{pi} = P_{upi} \times h_{pi} = 29,96618461 \text{ kW} \times 528,25 \text{ horas} = 15829,63702 \text{ kWh/ano}$

- Energia consumida (MWh/ano) $\rightarrow E_{pi} = \frac{P_{upi} \times h_{pi}}{1000} = \frac{29,96618461 \text{ kW} \times 528,25 \text{ horas}}{1000} = 15,83 \text{ MWh/ano}$

- Demanda média na ponta (kW) $\rightarrow D_{pi} = P_{upi} \times FCP_{pi} = 29,96618461 \text{ kW} \times 0,67 = 20 \text{ kW}$

2.2.4) BOMBA EAT-003

- Vazão (m³/h) $\rightarrow Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = 39,60 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow$ os dados na simulação do software EPANET

- Vazão (m³/s) $\rightarrow Q_{pi} = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{39,60 \text{ m}^3}{3600\text{s}} = 0,011 \text{ m}^3/\text{s}$

- Horas de funcionamento da bomba (média) $\rightarrow h_{pi} = 703,9166667$ horas (adotar)

- Altura manométrica (mca) $\rightarrow H_{pi} = 25,00$ mca

- Potência nominal do motor (CV) $\rightarrow p_{pi} = 7,5 \text{ CV} \rightarrow 1 \text{ Kw} = 1,36 \text{ CV} \rightarrow 5,514705882 \text{ Kw}$

- Carregamento $\rightarrow \gamma_{pi} = \frac{\text{Potência requerida (kW)}}{\text{Potência nominal (kW)}}$

$$\text{Potência requerida} = \frac{9,81 \times Q_{pi} \times H_{pi}}{\eta_{pi}} = \frac{9,81 \times \frac{0,011^3}{\text{s}} \times 25,00\text{mca}}{\frac{97\%}{100\%}} = 2,781185567 \text{ kW}$$

$$\gamma_{pi} = \frac{2,781185567 \text{ kW}}{5,514705882 \text{ kW}} = 0,504321649$$

- Rendimento nominal (%) $\rightarrow \eta_{npi} = 97 \%$

- Rendimento no ponto de carregamento (%) $\rightarrow \eta_{pi} = 97\%$

- Quantidade $\rightarrow q_{pi} = 1$ unidade

- Potência instalada (kW) $\rightarrow P_{pi} = \frac{p_{pi} \times 0,736 \times q_{pi} \text{ (kW)}}{\eta_{pi}/100} = \frac{7,5 \text{ CV} \times 0,736 \times 1 \text{ unid}}{97\%/100\%} = 5,690721649 \text{ kW}$

- Potência média utilizada (kW) $\rightarrow P_{upi} = \frac{P_{pi} \times \gamma_{pi}}{\eta_{pi}/\eta_{pi}} = \frac{5,690721649 \text{ kW} \times 0,504321649}{97\%/97\%} = 2,869954126 \text{ kW}$

- Fator de coincidência na ponta (varia entre 0 e 1) $\rightarrow FCP_{pi} = \frac{h_{pi}}{792} \rightarrow \frac{703,9166667}{792} \rightarrow 0,89$

- Consumo de energia (kWh/ano) $\rightarrow E_{pi} = P_{upi} \times h_{pi} = 2,869954126 \text{ kW} \times 703,9166667 \text{ horas} = 2020,21 \text{ kWh/ano}$

- Energia consumida (MWh/ano) $\rightarrow E_{pi} = \frac{P_{upi} \times h_{pi}}{1000} = \frac{2,869954126 \text{ kW} \times 703,9166667 \text{ horas}}{1000} = 2,02 \text{ MWh/ano}$

- Demanda média na ponta (kW) $\rightarrow D_{pi} = P_{upi} \times FCP_{pi} = 2,869954126 \text{ kW} \times 0,89 = 2,55 \text{ kW}$

SISTEMA PROPOSTO						
Descrição / unidade		Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL
		Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, n° 125 (REL-001/RAP-001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)	
		Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003	
Vazão média (m3/s)	Q_{pi}	0,05	0,035	0,043	0,011	
Vazão média (m3/h)	Q_{pi}	182,85	126,00	154,80	39,60	
Altura manométrica média (mca)	H_{pi}	20,00	15,00	41,00	25,00	
Potência nominal do motor (cv)	p_{pi}	25	15	35	7,5	
Carregamento	γ_{pi}	0,66	0,59	0,88	0,50	
Rendimento nominal (%)	η_{npi}	82,00	79,00	76,00	97,00	
Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{pi}	82,00	79,00	76,00	97,00	
Quantidade	q_{pi}	1,00	1,00	1,00	1,00	
Potência instalada (kW)	$P_{pi} = (p_{pi} \times 0,736 \times q_{pi}) / \eta_{npi}$	22,44	13,97	33,89	5,69	
Potência média utilizada (kW)	$P_{upi} = P_{pi} \times \gamma_{pi} \times \eta_{pi} / \eta_{npi}$	14,83	8,26	29,97	2,87	
Funcionamento (h/ano)	h_{pi}	652,92	398,08	528,25	703,92	
FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{pi}	0,82	0,50	0,67	0,89	
Consumo de energia produção (KWh/ano) ou Consumo de energia distribuição (KWh/ano)	$E_{pi} = (P_{upi} \times h_{pi})$	9685,86	3288,25	15832,53	2020,21	
Energia consumida (MWh/ano)	$E_{pi} = (P_{upi} \times h_{pi}) / 1000$	9,69	3,29	15,83	2,02	30,83
Demanda média na ponta (kW)	$D_{pi} = P_{upi} \times FCP_{pi}$	12,23	4,15	19,99	2,55	38,92

2.2.5) CÁLCULO DA EFICIÊNCIA ELETROMECÂNICA EM INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS (SISTEMA PROPOSTO)

2.2.5.1) BOMBA EAB-001

- Volume recalcado (média) $\rightarrow 119386,00 \text{ m}^3$

- Altura manométrica $\rightarrow 20,00 \text{ mca}$

- Energia consumida → 9685,86 kWh

- Indicador CEN → $CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{9685,86 \times 100}{119386,00 \times 20} = 0,405653091 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \times 100\text{m})$

- Eficiência energética → $\eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,405653091} = 67,18 \%$

- Avaliação do rendimento da bomba → Operação como eficiência média

** Um valor mediano encontra-se entre 0,40 e 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias entre 50% e 68%).

2.2.5.2) BOMBA EAT-001

- Volume recalado (média) → 60667,67 m³

- Altura manométrica → 15,00 mca

- Energia consumida → 3288,25 kWh

- Indicador CEN → $CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{3288,25 \times 100}{60667,67 \times 15} = 0,361340177 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \times 100\text{m})$

- Eficiência energética → $\eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,361340177} = 75,41 \%$

- Avaliação do rendimento da bomba → Operação eficiente

** Um valor bom para este indicador é entre 0,27 e 0,40 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias entre 68% e 100%).

2.2.5.3) BOMBA EAT-002

- Volume recalado (média) → 85579,92 m³

- Altura manométrica → 41,00 mca

- Energia consumida → 15832,53 kWh

- Indicador CEN → $CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{15832,53 \times 100}{85579,92 \times 41} = 0,451226489 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \times 100\text{m})$

- Eficiência energética → $\eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,451226489} = 60,39 \%$

- Avaliação do rendimento da bomba → Operação como eficiência média

** Um valor mediano encontra-se entre 0,40 e 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias entre 50% e 68%).

2.2.5.4) BOMBA EAT-003

- Volume recalcado (média) → 14833,17 m³

- Altura manométrica → 25,00 mca

- Energia consumida → 2020,21 kWh

- Indicador CEN → $CEN = \frac{E \times 100}{V/H} = \frac{2020,21 \times 100}{14833,17 \times 25} = 0,544781729 \text{ kWh}/(m^3 \times 100m)$

- Eficiência energética → $\eta = \frac{0,2725 \times 100}{CEN} = \frac{0,2725 \times 100}{0,544781729} = 50,02 \%$

- Avaliação do rendimento da bomba → Operação como eficiência média

** Um valor mediano encontra-se entre 0,40 e 0,54 kWh/m³x100m (correspondentes a eficiências médias entre 50% e 68%).

SISTEMA PROPOSTO				
Descrição	Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04
	Região Cerâmica Baiazinha (Captação)	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP-001/RAP-002)	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água)	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004)
	Bomba EAB-001	Bomba EAT-001	Bomba EAT-002	Bomba EAT-003
Volume recalcado (média) - m ³	119386,00	60667,67	85579,92	14833,17
Altura manométrica - Hmt	20,00	15,00	41,00	25,00
Energia consumida - kWh	9685,86	3288,25	15832,53	2020,21
CEN / Ph5 (kWh/m ³ x100m)	0,41	0,36	0,45	0,54
Eficiência energética - η (%)	67,18	75,41	60,39	50,02
Avaliação do rendimento da bomba	Operação como eficiência média	Operação eficiente	Operação como eficiência média	Operação como eficiência média

2.3) CÁLCULO – RESULTADOS ESPERADOS

2.3.1) BOMBA EAB-001

- Redução de demanda na ponta (kW)

$Dai = 16,40 \text{ kW}$

$Dpi = 12,23 \text{ kW}$

$RDPI = Dai - Dpi$

$RDPI = 16,40 - 12,23 \rightarrow \underline{4,17 \text{ Kw}}$

- Redução de demanda na ponta (%)

$$RDPi = 4,17 \text{ kW}$$

$$Dai = 16,40 \text{ Kw}$$

$$RDP \% = RDPi / Dai) \times 100$$

$$RDP \% = (4,17 / 16,40) \times 100 \rightarrow \underline{25,43 \%}$$

- Energia economizada (MWh/ano)

$$Eai = 10,70 \text{ MWh/ano}$$

$$Epi = 9,69 \text{ MWh/ano}$$

$$EEi = Eai - Epi$$

$$EEi = 10,70 - 9,69 \rightarrow \underline{1,01 \text{ MWh/ano}}$$

- Energia economizada (%)

$$EEi = 1,01 \text{ MWh/ano}$$

$$Eai = 10,70 \text{ MWh/ano}$$

$$EE \% = EEi / Eai) \times 100$$

$$EE \% = (1,01 / 10,70) \times 100 \rightarrow \underline{9,44 \%}$$

2.3.2) BOMBA EAT-001

- Redução de demanda na ponta (kW)

$$Dai = 10,53 \text{ kW}$$

$$Dpi = 4,15 \text{ kW}$$

$$RDPi = Dai - Dpi$$

$$RDPi = 10,53 - 4,15 \rightarrow \underline{6,38 \text{ Kw}}$$

- Redução de demanda na ponta (%)

$$RDPi = 6,38 \text{ kW}$$

$$Dai = 10,53 \text{ Kw}$$

$$RDP \% = RDPi / Dai) \times 100$$

$$RDP \% = (6,38 / 10,53) \times 100 \rightarrow \underline{60,59 \%}$$

- Energia economizada (MWh/ano)

$$Eai = 8,34 \text{ MWh/ano}$$

$$Epi = 3,29 \text{ MWh/ano}$$

$$EEi = Eai - Epi$$

$$EEi = 8,34 - 3,29 \rightarrow \underline{5,05 \text{ MWh/ano}}$$

- Energia economizada (%)

$$EEi = 5,05 \text{ MWh/ano}$$

$$Eai = 8,34 \text{ MWh/ano}$$

$$EE \% = EEi / Eai) \times 100$$

$$EE \% = (5,05 / 8,34) \times 100 \rightarrow \underline{60,55 \%}$$

2.3.3) BOMBA EAT-002

- Redução de demanda na ponta (kW)

$$Dai = 32,21 \text{ kW}$$

$$Dpi = 19,99 \text{ kW}$$

$$RDPi = Dai - Dpi$$

$$RDPi = 32,21 - 19,99 \rightarrow \underline{12,22 \text{ Kw}}$$

- Redução de demanda na ponta (%)

$$RDPi = 12,22 \text{ kW}$$

$$Dai = 32,21 \text{ Kw}$$

$$RDP \% = RDPi / Dai) \times 100$$

$$RDP \% = (12,22 / 32,21) \times 100 \rightarrow \underline{37,94 \%}$$

- Energia economizada (MWh/ano)

$$Eai = 17,01 \text{ MWh/ano}$$

$$Epi = 15,83 \text{ MWh/ano}$$

$$EEi = Eai - Epi$$

$$EEi = 17,01 - 15,83 \rightarrow \underline{1,18 \text{ MWh/ano}}$$

- Energia economizada (%)

$$EEi = 1,18 \text{ MWh/ano}$$

$$Eai = 17,01 \text{ MWh/ano}$$

$$EE \% = EEi / Eai) \times 100$$

$$EE \% = (1,18 / 17,01) \times 100 \rightarrow \underline{6,9 \%}$$

2.3.4) BOMBA EAT-003

- Redução de demanda na ponta (kW)

$$Dai = 2,92 \text{ kW}$$

$$Dpi = 2,55 \text{ kW}$$

$$RDPi = Dai - Dpi$$

$$RDPi = 2,92 - 2,55 \rightarrow \underline{0,37 \text{ Kw}}$$

- Redução de demanda na ponta (%)

$$RDPi = 0,37 \text{ kW}$$

$$Dai = 2,92 \text{ Kw}$$

$$RDP \% = RDPi / Dai) \times 100$$

$$RDP \% = (0,37 / 2,92) \times 100 \rightarrow \underline{12,67 \%}$$

- Energia economizada (MWh/ano)

$$E_{ai} = 2,06 \text{ MWh/ano}$$

$$E_{pi} = 2,02 \text{ MWh/ano}$$

$$EE_i = E_{ai} - E_{pi}$$

$$EE_i = 2,06 - 2,02 \rightarrow \underline{0,04 \text{ MWh/ano}}$$

- Energia economizada (%)

$$EE_i = 0,04 \text{ MWh/ano}$$

$$E_{ai} = 2,06 \text{ MWh/ano}$$

$$EE \% = EE_i / E_{ai} \times 100$$

$$EE \% = (0,04 / 2,06) \times 100 \rightarrow \underline{1,9 \%}$$

2.3.5) TOTAL ECONOMIZADO

- Redução de demanda na ponta (kW) $\rightarrow 4,17 + 6,38 + 12,22 + 0,37 = \underline{23,14 \text{ Kw}}$

- Redução de demanda na ponta (%) $\rightarrow 25,43 + 60,59 + 37,94 + 12,67 = \underline{136,63 \%}$

- Energia economizada (MWh/ano) $\rightarrow 1,01 + 5,05 + 1,18 + 0,04 = \underline{7,28 \text{ MWh/ano}}$

- Energia economizada (%) $\rightarrow 9,44 + 60,55 + 6,9 + 1,9 = \underline{78,79 \%}$

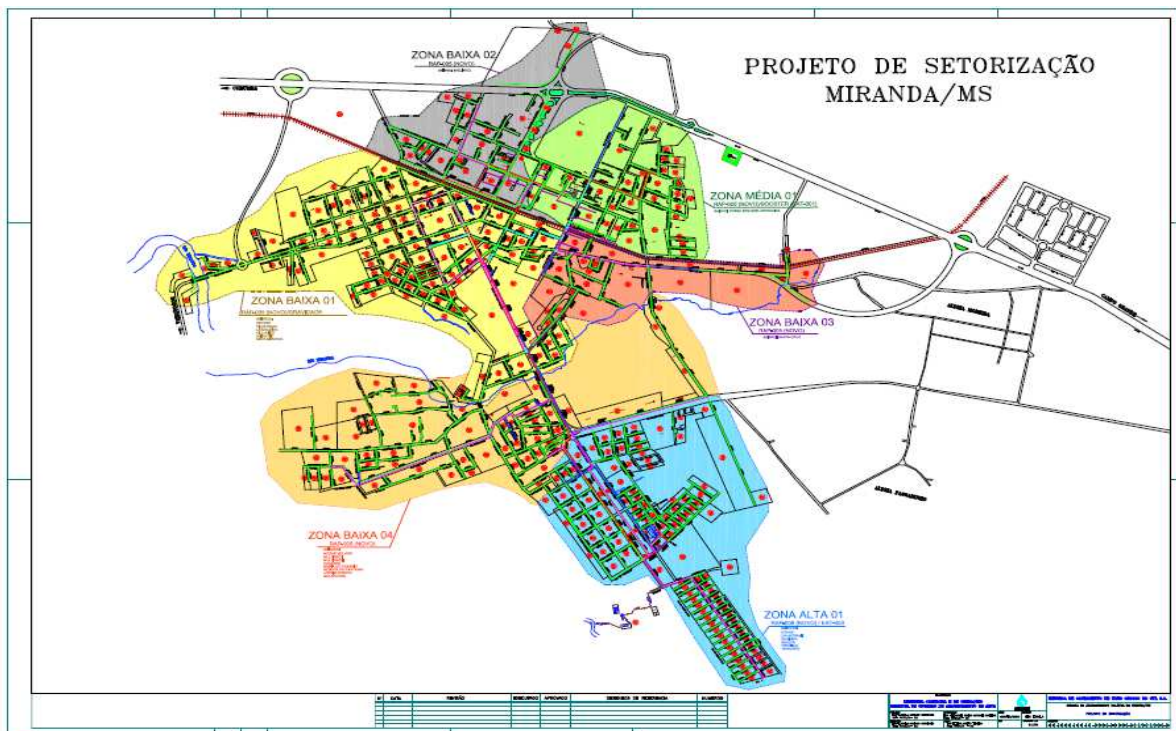
RESULTADOS ESPERADOS						
Descrição / unidade	Cálculo (fórmulas)	Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	TOTAL
		Região Cerâmica Baiazinha (Captação) Bomba EAB-001	Rua Benjamin Constant, nº 125 (REL-001/RAP-001/RAP-002) Bomba EAT-001	Região Cerâmica Baiazinha (Estação de tratamento de água) Bomba EAT-002	Rua Vitória Régia, s/n (RAP-004) Bomba EAT-003	
Redução de demanda na ponta (KW)	$RDP_i = Dai - Dpi$	4,2	6,4	12,2	0,4	23,1
Redução de demanda na ponta (%)	$RDP\% = RDP_i / Dai \times 100$	25,4	60,6	37,9	12,7	136,6
Energia economizada (MWh/ano)	$EE_i = E_{ai} - E_{pi}$	1,0	5,1	1,2	0,04	7,3
Energia economizada (%)	$EE\% = EE_i / E_{ai} \times 100$	9,5	60,6	6,9	1,8	78,8

ANEXOS

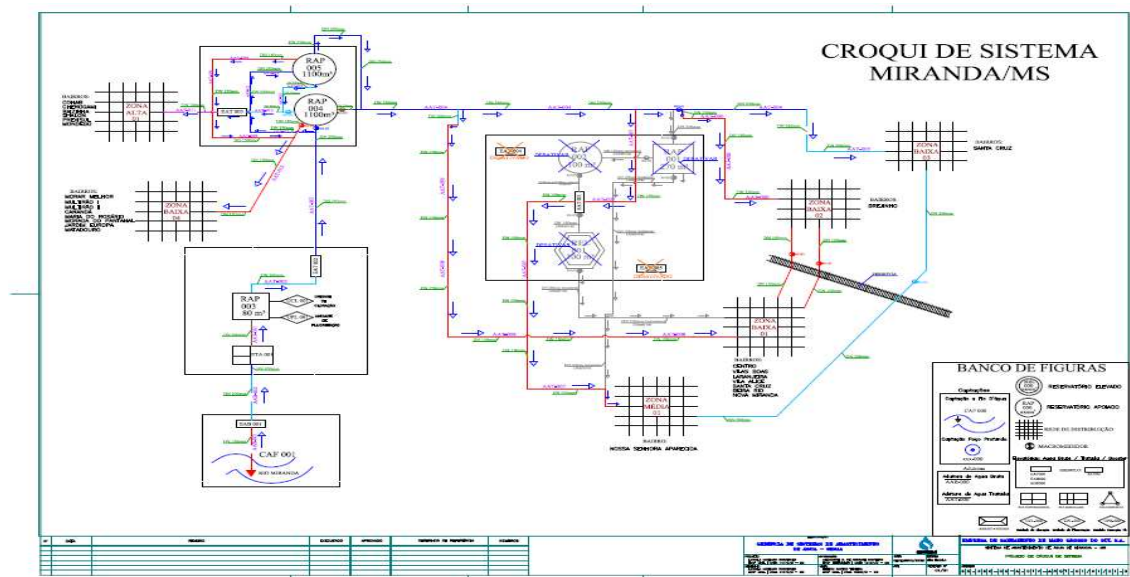
ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM MIRANDA/MS

Cenário 03 - Eficiência energética e melhoria operacional dos sistemas de água de Miranda/MS

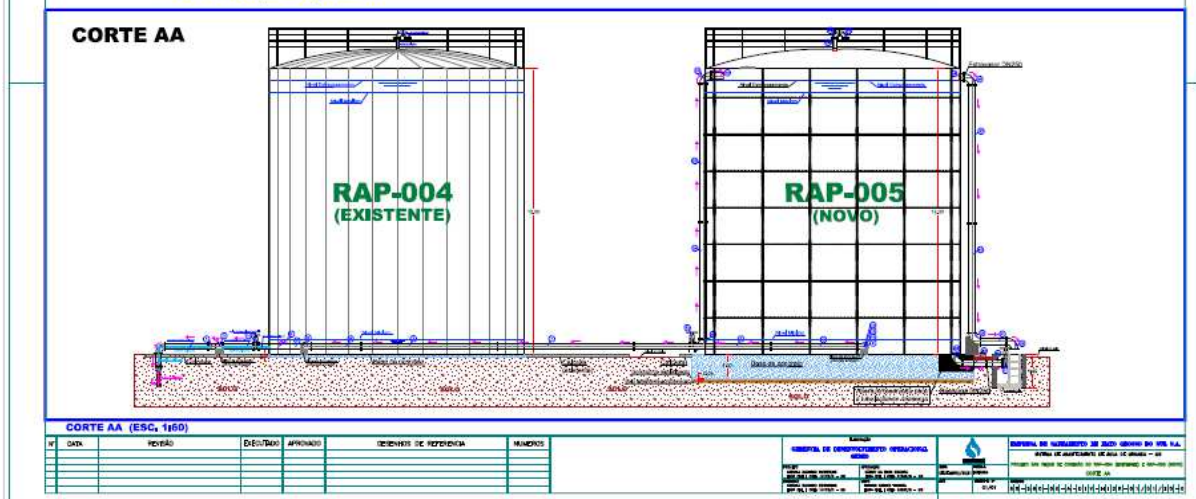
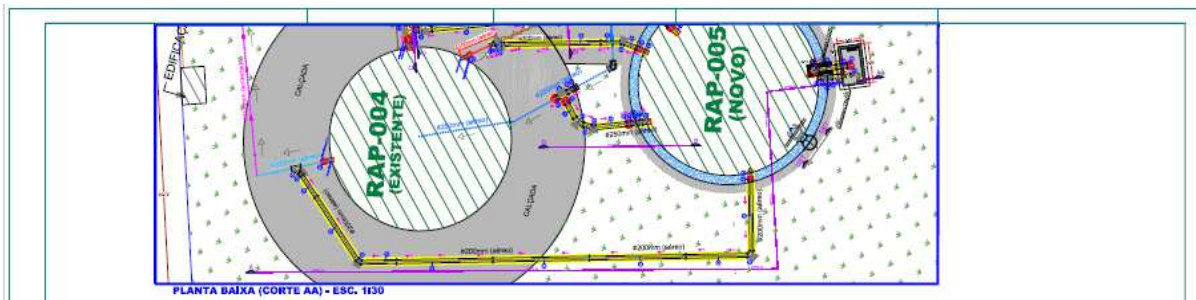
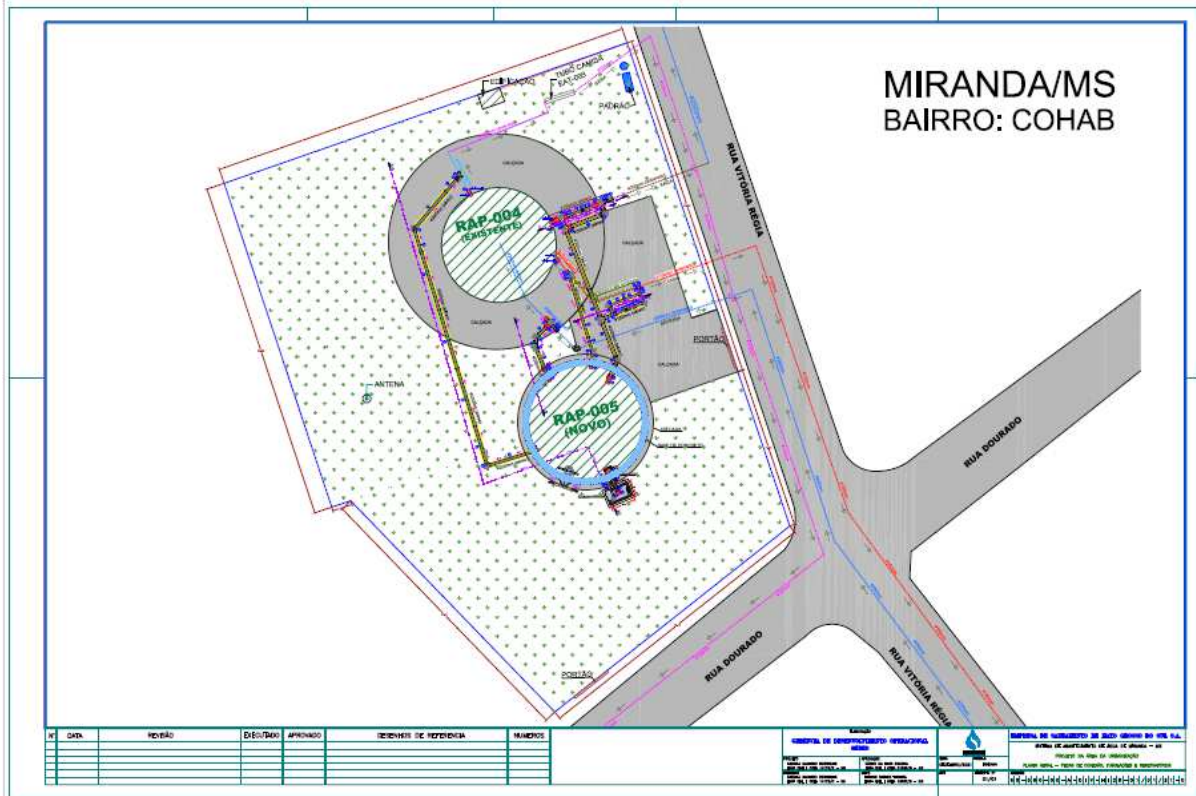
1) PROJETO DE SETORIZAÇÃO - SISTEMA PROPOSTO



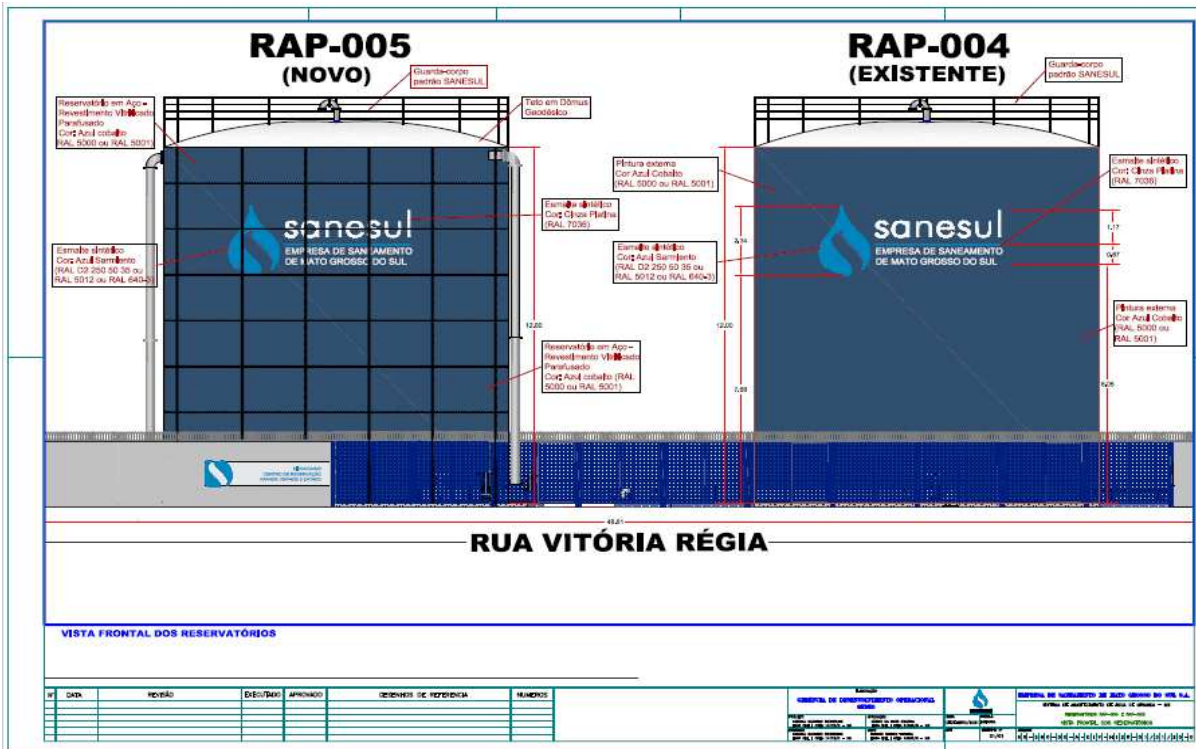
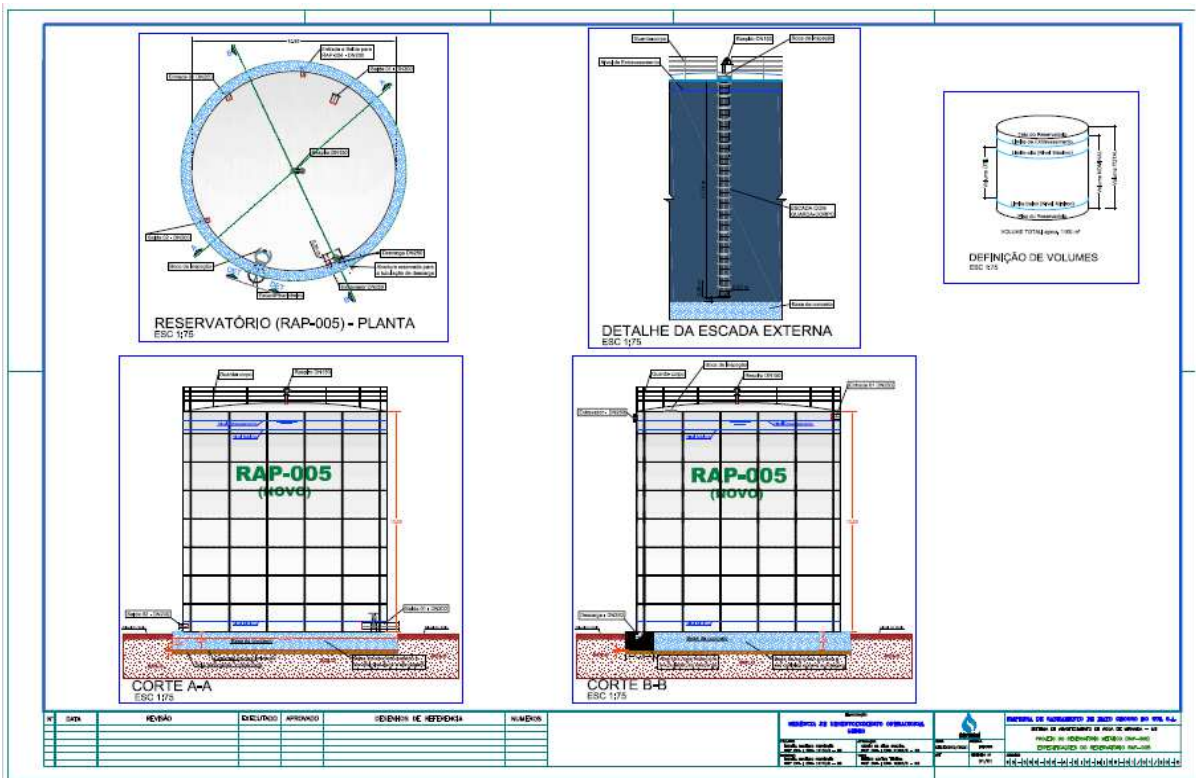
2) PROJETO DE CROQUI DE SISTEMA - SISTEMA PROPOSTO



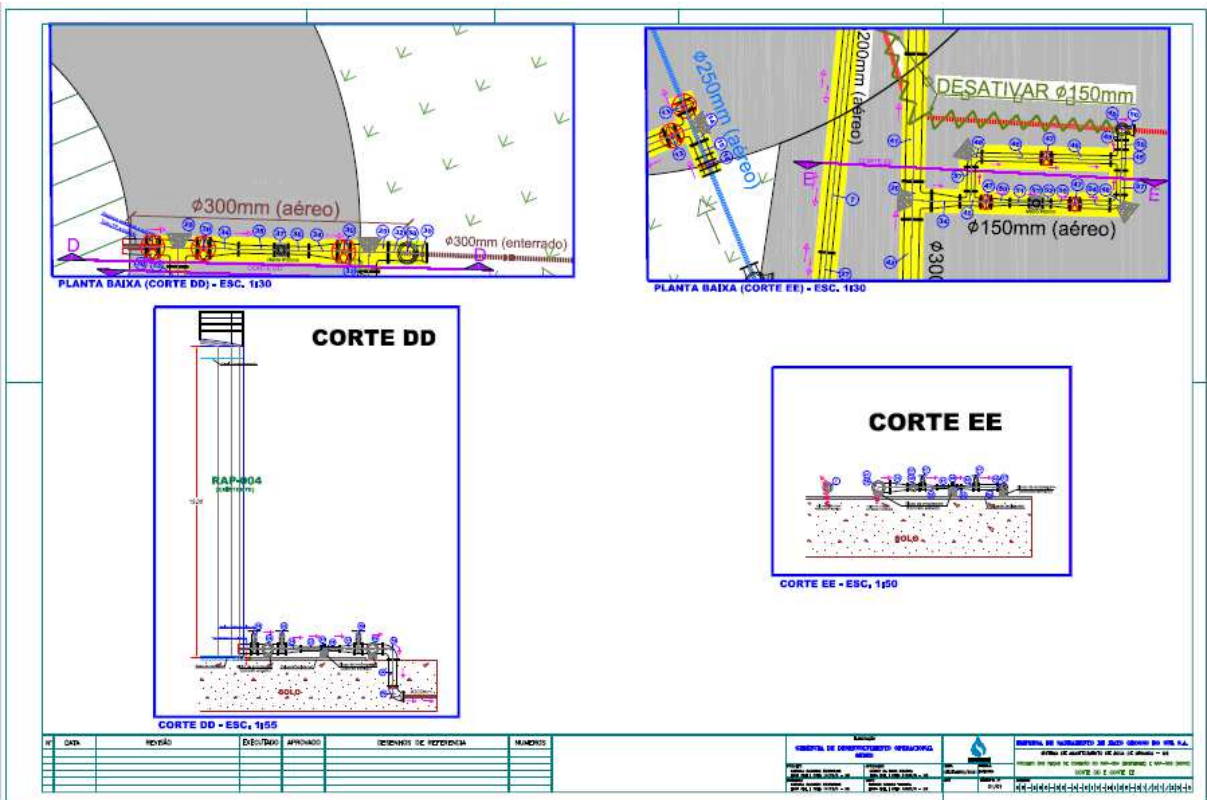
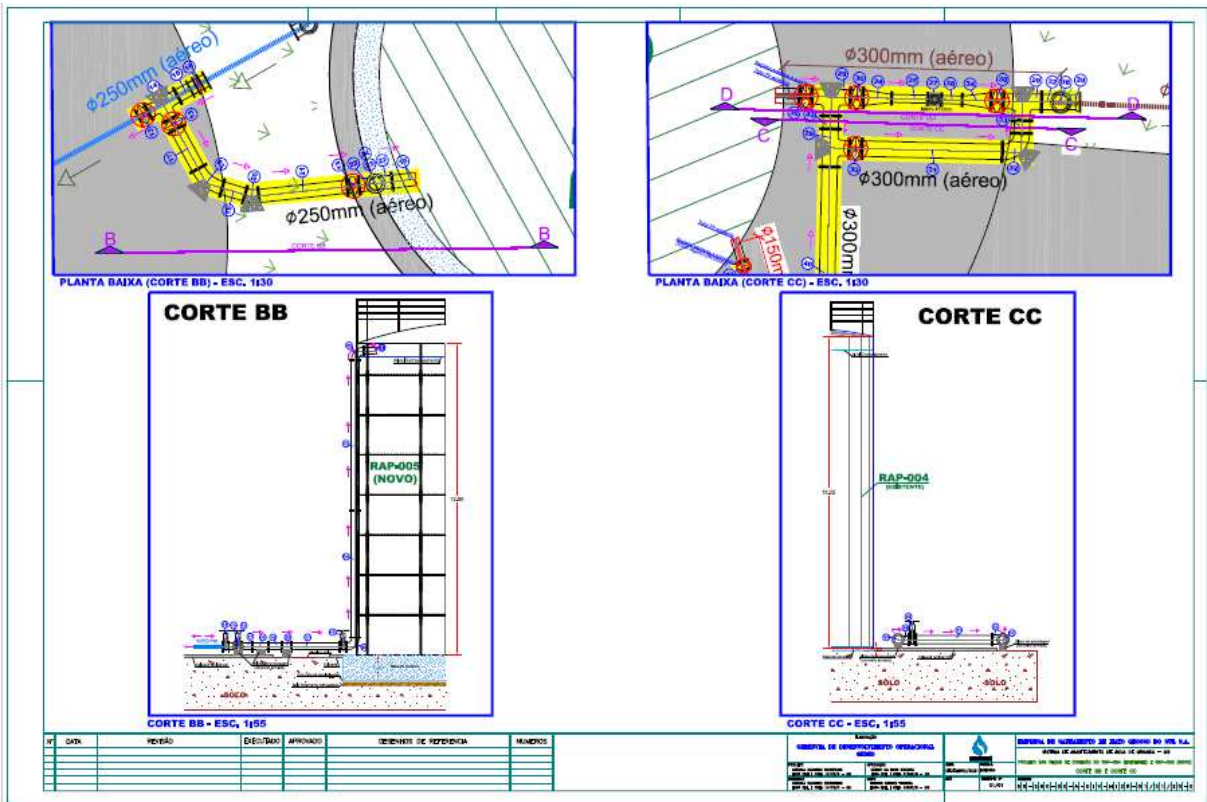
3) PROJETOS DE RESERVATÓRIOS, PEÇAS DE CONEXÃO E TUBULAÇÕES – SISTEMA PROPOSTO



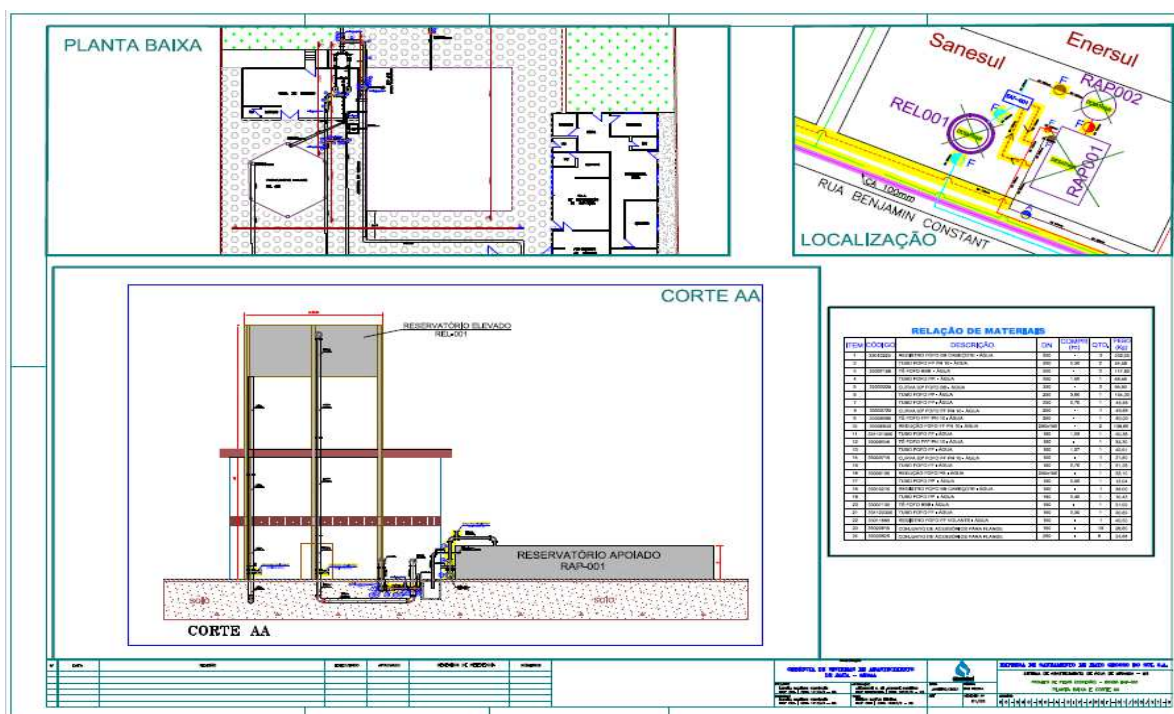
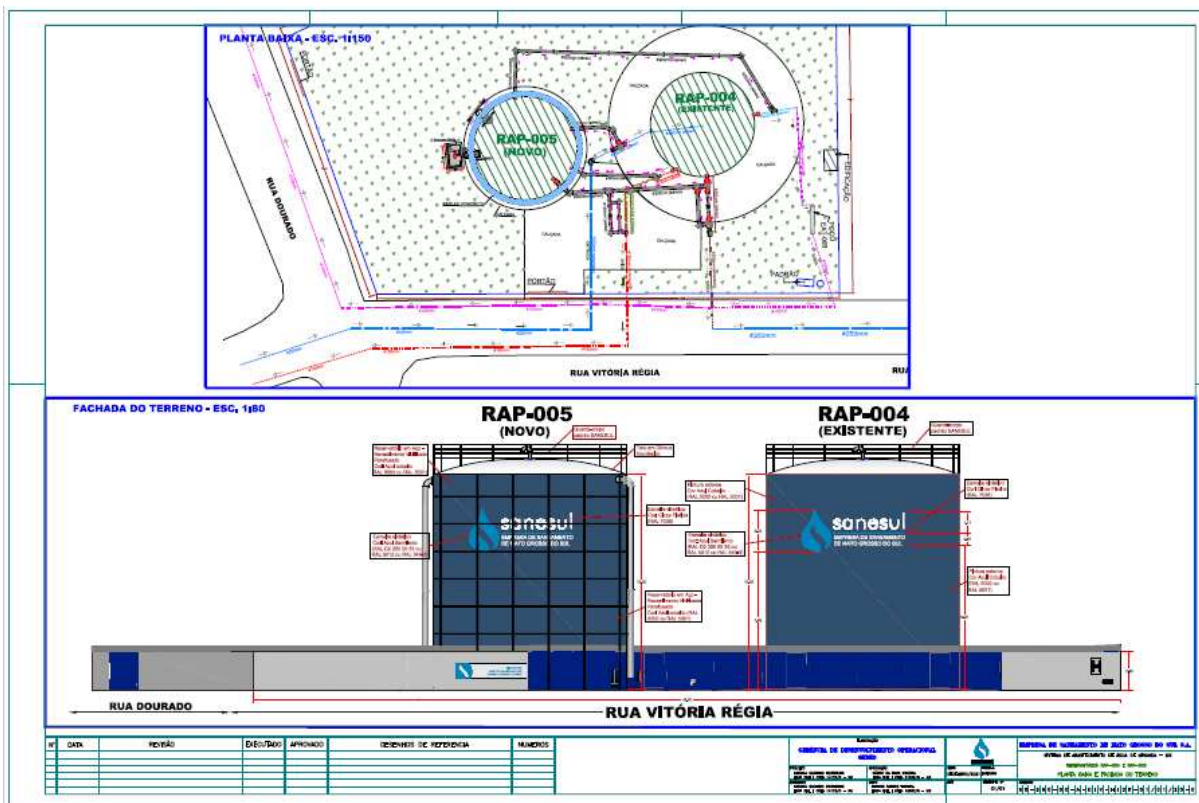
4) **PROJETOS DE RESERVATÓRIOS – SISTEMA PROPOSTO**



5) PROJETO DE RESERVATÓRIO E ADUTORAS – SISTEMA PROPOSTO



6) **PROJETOS DE RESERVATÓRIOS, PEÇAS DE CONEXÃO E TUBULAÇÕES – SISTEMA PROPOSTO**



7) **PROJETOS DE ADUTORAS E REDE DE DISTRIBUIÇÃO – SISTEMA PROPOSTO**

