



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO E OTIMIZAÇÃO
OPERACIONAL PELA APLICAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS,
DE UMA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA**

Kenny Rogers da Silva Henriques

João Pessoa
2018

KENNY ROGERS DA SILVA HENRIQUES

**DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO E OTIMIZAÇÃO
OPERACIONAL PELA APLICAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS,
DE UMA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Área de concentração: Dinâmica e Controle de Sistemas Mecânicos.

Orientador: Prof. Dr. Heber Pimentel
Gomes

**João Pessoa
2018**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

H519d Henriques, Kenny Rogers da Silva.

Diagnóstico hidroenergético e otimização operacional
pela aplicação de algoritmos genéticos, de uma estação
elevatória de água / Kenny Rogers da Silva Henriques. -
João Pessoa, 2018.

158 f. : il.

Orientação: Heber Pimentel Gomes.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Engenharia Mecânica. 2. Sistemas de abastecimento -
água. 3. Diagnóstico hidroenergético. 4. Otimização
operacional. 5. Algoritmos genéticos. I. Gomes, Heber
Pimentel. II. Título.

UFPB/BC

DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO E OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL PELA APLICAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS, DE UMA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA

por

KENNY ROGERS DA SILVA HENRIQUES

Dissertação aprovada em 28 de fevereiro de 2018

Prof. Dr. HEBER PIMENTEL GOMES
Orientador – UFPB

Prof. Dr. ISAAC SOARES DE FREITAS
Examinador Interno - UFPB

Prof. Dr. JEAN PIERRE VERONESE
Examinador Externo - UFPB

DEDICATÓRIA

Com amor e reconhecimento da importância em minha vida,

A minha esposa, Alleksandra Dias da Silva Henriques.

A minha filha, Ana Beatriz Dias Henriques.

Aos meus pais José de Assis da Silva Henriques e

Fabernazi da Silva Henriques.

Aos meus irmãos Kally Fayruss, Kaydson Sheyne e Kennedy Jogley.

Aos demais familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela presente existência e por me guiar até aqui,

A minha Esposa Alleksandra Dias, pelo companheirismo, amor, apoio incondicional, motivação e parceria durante toda minha caminhada nos últimos 9 anos,

A minha Filha Ana Beatriz, pelo amor, inocência e fonte de inspiração indispensável para minha caminhada,

Aos meus pais, pelo amor incondicional, apoio, incentivo e motivação em todos os momentos da minha vida,

Ao meu orientador Prof. Dr. Heber Pimentel Gomes, um agradecimento muito especial pelas preciosas orientações, ensinamentos e pela amizade conquistada ao longo desses anos juntos ao Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento – LENHS/UFPB,

Ao amigo Moisés Meneses Salvino, pelos ensinamentos, generosidade, sempre honesto nos conselhos e amizade, desprendimento e ajuda indispensável no desenvolvimento deste trabalho,

Ao amigo Airton Sampaio Gomes, pelos ensinamentos, generosidade, amizade e ajuda indispensável no desenvolvimento deste trabalho,

Ao amigo José Kleber Costa de Oliveira, pelo apoio incondicional ao desenvolvimento de inúmeras atividades relacionadas ao desenvolvimento deste trabalho,

Aos meus queridos amigos do LENHS – Cassio, Laís Regis, Pedro e Renato, pelo companheirismo,

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM, pelo compromisso, dedicação, paciência, honestidade e atenção indispensável para conclusão do curso,

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM, pelo compromisso e dedicação,

Ao Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento - LENHS, coordenado pelo Prof. Heber Pimentel Gomes, a Rede LENHS, por todo conhecimento e infraestrutura proporcionada e indispensável na realização desse trabalho,

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, pela parceria e apoio ao trabalho realizado,

Aos meus familiares, amigos, colegas da pós-graduação, funcionários e professores da UFPB, e a todos que participaram direta ou indiretamente da minha caminhada.

“O desejo profundo da humanidade pelo conhecimento é justificativa suficiente para nossa busca contínua.”

(Stephen Hawking)

RESUMO

Sistemas de abastecimento de água com múltiplos reservatórios, múltiplos conjuntos motobomba associados a variações de demanda ao longo de um dia de abastecimento tornam muito mais complexas suas rotinas de operação e gerenciamento. Diante disso é possível utilizar *softwares* de simulação e modelagem matemática e hidráulica para otimizar a operação desses tipos de sistemas. Este trabalho teve como objetivo a realização de um diagnóstico hidroenergético em um sistema de abastecimento real e aplicação de Algoritmos Genéticos para otimizar suas rotinas operacionais de acionamento dos conjuntos motobomba e gerenciamento níveis de água nos reservatórios visando a redução dos custos de bombeamento. A metodologia apresentada neste trabalho propôs a análise hidroenergética do sistema atual e mais dois cenários distintos, o primeiro com as rotinas operacionais otimizadas pela aplicação de AG's e a segunda considerando além de rotinas de operação otimizadas, intervenções estruturais como a substituição de dos conjuntos de propulsão, redução nas perdas de água e redução do volume bombeado. O diagnóstico hidroenergético evidenciou perdas substanciais de água e energia no sistema atual. Os resultados obtidos após intervenções das rotinas operacionais pelo algoritmo genético, integradas também a redução de perdas de água na rede de abastecimento, apresentaram bastante satisfatórios. A realização de um diagnóstico hidroenergético associado à aplicação de algoritmos genéticos como ferramenta para otimização das rotinas operacionais de sistemas de abastecimento de água com múltiplos reservatórios e múltiplos bombeamentos se mostraram eficientes e aplicáveis ao sistema real apresentado, resultando em reduções substanciais nos custos operacionais de bombeamento.

Palavras-chave: sistemas de abastecimento de água, diagnóstico hidroenergético, otimização operacional, algoritmos genéticos.

ABSTRACT

Multi-reservoir water supply systems, multiple pump-pump assemblies associated with demand variations over a one-day supply make their operation and management routines much more complex. In this way it is possible to use mathematical and hydraulic simulation and modeling *software* to optimize the operation of these types of systems. The objective of this work was to perform a hydroenergetic diagnosis in a real supply system and application of Genetic Algorithms to optimize its operational routines to drive the pump sets and management of water levels in the reservoirs aiming at reducing pumping costs. The methodology presented in this paper proposes the hydroenergetic analysis of the current system and two other scenarios, the first with the operational routines optimized by the application of GAs and the second recital in addition to optimized operating routines, structural interventions such as the replacement of the propulsion sets , reduction in water losses and reduction of pumped volume. The hydropower diagnosis showed substantial losses of water and energy in the current system. The results obtained after interventions of the operational routines by the genetic algorithm, also integrated the reduction of losses of water in the supply network, presented quite satisfactory. The realization of a hydroenergetic diagnosis associated with the application of genetic algorithms as a tool to optimize the operational routines of water systems with multiple reservoirs and multiple pumps were efficient and applicable to the actual system presented, resulting in substantial reductions in pumping operating costs .

Key words: water supply systems, hydropower diagnostics, operational optimization, genetic algorithms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistemática básica dos AGs	39
Figura 2 – Cruzamento simples de um ponto	41
Figura 3 – Cruzamento simples de dois pontos	41
Figura 4 – Cruzamento uniforme	42
Figura 5 – Processo de mutação simples	43
Figura 6 – Localização da EEAT Mario Andreazza e população atendida	48
Figura 7 – Tipologia e representação esquemática do sistema Mario Andreazza.....	49
Figura 8.a – Gabinete de leituras elétricas e acionamento de motores.....	54
Figura 8.b – Alimentação elétrica dos motores (interior do gabinete)	54
Figura 9 – Interface do <i>software</i> MATLAB®.....	63
Figura 10 – Acesso ao <i>plug-in</i> “Optimization Tool” através da aba “start”	64
Figura 11 – Interface do <i>plug-in</i> Optimization Tool	64
Figura 12 – Representação do ambiente de trabalho do EPANET 2.0 Brasil	68
Figura 13 – Representação do sistema Mario Andreazza construído no ambiente do <i>software</i> EPANET 2.0 Brasil	69
Figura 14 – Ilustração do menu de edição de propriedades dos itens do modelo	70
Figura 15 – Perfil altimétrico da adutora do Sistema Mário Andreazza	71
Figura 16 – Ponto de medição pré-existente com obstrução por vegetação e alagamento	73
Figura 17 – Disposição em paralelo da Elevatória Mario Andreazza	74
Figura 18 – Maleta registradora de pressão modelo Lamon compact	75
Figura 19 – Medidor de vazão ultrassônico portátil modelo GE Transport® PT878	76
Figura 20 – Posicionamento da instalação dos equipamentos de medição de pressão e vazão na adutora principal	77

Figura 21 – Gráfico de vazão e pressão durante um dia de monitoramento	78
Figura 22 – Gráfico do primeiro dia de monitoramento dos níveis dinâmicos dos volumes dos reservatórios RAP e REL	79
Figura 23 – Gráfico do segundo dia de monitoramento dos níveis dinâmicos dos volumes dos reservatórios RAP e REL	80
Figura 24 – Gráfico do terceiro dia de monitoramento dos níveis dinâmicos dos volumes dos reservatórios RAP e REL	80
Figura 25 – Gráfico do quarto dia de monitoramento dos níveis dinâmicos dos volumes dos reservatórios RAP e REL	81
Figura 26 – Gráfico do quinto dia de monitoramento dos níveis dinâmicos dos volumes dos reservatórios RAP e REL	81
Figura 27 – Gráfico do sexto dia de monitoramento dos níveis dinâmicos dos volumes dos reservatórios RAP e REL	82
Figura 28 – Gráfico do sétimo dia de monitoramento dos níveis dinâmicos dos volumes dos reservatórios RAP e REL	82
Figura 29 – Analisador de energia portátil modelo Fluke® 433	83
Figura 30 – Gráfico do monitoramento de vazão e potência elétrica dos motores de forma simultânea durante 7 dias ininterruptos	84
Figura 31 – Implementação das rotinas operacionais de acionamento dos motores, propostas pelo algoritmo Genético, no simulador EPATET	94
Figura 32 – Resposta dos níveis dos reservatórios, para condição inicial de volume máximo às 00:00 horas	95
Figura 33 – Resposta dos níveis dos reservatórios, para condição inicial de volume intermediário às 00:00 horas	96

Figura 34 – Resposta dos níveis dos reservatórios, para condição inicial de volume mínimo às 00:00 horas	96
Figura 35 – Resposta do nível dinâmico dos reservatórios à alternativa 1 com nível máximo às 00:00h	97
Figura 36 – Resposta do nível dinâmico dos reservatórios à alternativa 1 com nível intermediário às 00:00h	97
Figura 37 – Resposta do nível dinâmico dos reservatórios à alternativa 1 com nível mínimo às 00:00h	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos consumidores de alta tensão	28
Tabela 2 – Índices de perdas dos prestadores de serviços regionais do Brasil	31
Tabela 3 – Características de projeto da Adutora Mário Andreazza	72
Tabela 4 – Levantamento das características dos CMB	72
Tabela 5 – Vazões médias e volumes totais bombeados	78
Tabela 6 – Horas acumuladas de funcionamento nos horários de ponta e fora de ponta	85
Tabela 7 – Consumos específicos, normatizados e estimativa de consumo anual de energia elétrica	85
Tabela 8 – Tarifa Horo Azul para demanda de potência contratada e tarifa de consumo para o período de 2015	86
Tabela 9 – Custo mensal e anual referente à demanda de potência contratada para o sistema	86
Tabela 10 – Custos diários e custo anual de bombeamento nos horários de ponta e fora de ponta	87
Tabela 11 – Representação em termos de porcentagem de horas e custos de bombeamento para o ano de 2015	87
Tabela 12 – Soluções para Alternativa 1, obtidas pela aplicação de AG para 24 horas de operação, considerando três cenários iniciais para os reservatórios	88
Tabela 13 – Solução proposta pelo AG, na forma de planilha operacional e considerando reservatórios em nível máximo às 00:00h	89
Tabela 14 – Solução operacional proposta pelo AG, na forma de planilha operacional e considerando reservatórios em nível intermediário (aproximadamente 50%) às 00:00h	90
Tabela 15 – Solução operacional proposta pelo AG, na forma de planilha operacional e considerando reservatórios em nível mínimo às 00:00h	90
Tabela 16 – Horas de funcionamento dos CMB acumuladas em 24 horas para Alternativa 1	91
Tabela 17 – Soluções obtidas para Alternativa 2, para 24 horas de operação, considerando três cenários iniciais para os reservatórios	
Tabela 18 – Horas de funcionamento dos CMB acumuladas em 24 horas para Alternativa 2	92

Tabela 19 – Solução proposta pelo AG, na forma de planilha operacional e considerando reservatórios em nível máximo às 00:00h	92
Tabela 20 – Solução operacional proposta pelo AG, na forma de planilha operacional e considerando reservatórios em nível intermediário (aproximadamente 50%) às 00:00h	93
Tabela 21 – Solução operacional proposta pelo AG, na forma de planilha operacional e considerando reservatórios em nível mínimo às 00:00h	93
Tabela 22 – Comparativo dos resultados obtidos entre o cenário atual e as alternativas de otimização	99
Tabela 23 – Consumos específicos, normatizados e estimativa de consumo anual de energia elétrica	99

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AG	Algoritmos Genéticos
C	Coeficiente de Hazen Williams
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
Cb	Custo Energético Total de Bombeamento
CCO	Centro de Controle Operacional
CE	Computação Evolucionária
CEE	Consumo Específico de Energia
CEN	Consumo Específico Normalizado
CLP	Controlador Lógico Programável
CMB	Conjunto Motobomba
E	Energia
EE	Estação Elevatória
EEAT	Estação Elevatória de Água Tratada
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A
Fa	Função Aptidão
FO	Função Objetivo
Hm	Altura Manométrica
I.A	Inteligência Artificial
IPd	Índice de Perdas na Distribuição
IPe	Índice de Perdas por Extensão de Rede
IPf	Índice de Perdas por Faturamento
IP_L	Índice de Perdas por Ligação por dia
Km	Quilômetro
kV	Quilowatt
kVh	Quilowatt-hora
LENHS	Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento
m³	Metros Cúbicos
mca	Metros de Coluna de Água
mm	Milímetros

n	Número de bombas ativas
NB	Número de estações de bombeamento ativas
OFF	Bomba desligada
ON	Bomba ligada
ϕ	Função Objetivo Final ou Transformada
P	Potência
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Q	Vazão
RAP	Reservatório Apoiado
REL	Reservatório Elevado
Shut Off	Ponto de vazão nula para altura manométrica máxima
TAP	Registro de acesso ou derivação
Tu	Custo Unitário ou Tarifa Unitária de Energia
V	Volume
Δt	Intervalo de tempo de Bombeamento
η	Rendimento
η_b	Rendimento da Bomba
η_m	Rendimento do Motor Elétrico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. OBJETIVOS	21
1.1.1. Objetivo Geral	21
1.1.2. Objetivos Específicos	21
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO DE DISSERTAÇÃO	22
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1. OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	24
2.2. PLANEJAMENTO OPERACIONAL DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	26
2.3. REDUÇÃO DE CUSTOS DE BOMBEAMENTO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	28
2.3.1. Estrutura tarifária	28
2.3.2. Redução de potência de conjuntos motobomba	29
2.3.3. Alterações nas rotinas operacionais	30
2.3.4. Automação de sistemas de abastecimento	32
2.4. TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO	35
2.5. ALGORITMOS GENÉTICOS	36
2.6. DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO	44
3. MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO OBJETO	48
3.2. DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO	49
3.2.1. Obtenção de dados cadastrais	50
3.2.2. Visita prévia ao sistema	50
3.2.3. Medições de parâmetros hidroenergéticos	51
3.2.3.1. Planejamento de atividades de campo	51
3.2.3.2. Definição de procedimentos para campanha de medição	52
3.2.3.3. Medição dos parâmetros hidráulicos	52

3.2.3.4. Medição dos parâmetros elétricos	53
3.2.4. Aquisição, tratamento e análise de dados	55
3.3. MODELO DE OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL PROPOSTO	55
3.3.1. Definição da função objetivo	57
3.3.2. Definição da função aptidão	60
3.3.4. Resolução do Modelo em Ambiente MatLab®	62
3.4. MODELAGEM HIDRÁULICA EM AMBIENTE EPANET 2.0 BRASIL	66
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
4.1. RESULTADOS DO DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO	71
4.1.1. Obtenção de dados cadastrais	71
4.1.2. Visita prévia ao sistema	73
4.1.3. Medições de parâmetros hidráulicos	75
4.1.4. Comportamento dinâmico dos níveis dos reservatórios	79
4.1.5. Medições de parâmetros elétricos	82
4.1.6. Avaliação dos custos de bombeamento do sistema atual	85
4.2. RESULTADOS MODELO DE OTIMIZAÇÃO PELA APLICAÇÃO DE ALGORÍTIMOS GEÉTICOS EM AMBIENTE MATLAB®	88
4.2.1. Obtenção de alternativas de operação para EE1 e EE2	88
4.3. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS ALTERNATIVAS DE OTIMIZAÇÃO EM AMBIENTE EPANET 2.0 BRASIL COM VISTAS A GESTÃO DOS RESERVATÓRIOS	94
4.4. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS ALTERNATIVAS DE OTIMIZAÇÃO COM VISTAS À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	98
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	101
REFERÊNCIAS	104
APENDICE A - Biblioteca de Códigos de Programação no <i>Software</i> Matlab R2016a para Resolução do Modelo Proposto	107
APENDICE B – Dados Coletados a Partir das Medições de Campo por Instrumentos	113

1. INTRODUÇÃO

Um sistema de abastecimento de água, seja este de médio ou grande porte, é constituído pelas etapas de captação, adução, tratamento, reservação e por fim a distribuição da água à população ou consumidor final. Essas etapas envolvem grandes obras de engenharia, projetos de complexidade considerável e utilização de equipamentos específicos para esse fim.

Com o crescimento populacional dos centros urbanos, concentração ou aglomeração de cidades, há proporcionalmente um aumento crescente na demanda de água nesses centros. Nesse sentido é inevitável a necessidade de aduzir água de locais cada vez mais distantes, ou seja, buscar fontes alternativas para suprir o abastecimento, já que a maioria dos mananciais são fontes limitadas em termos de volume de água disponível.

O transporte da água, na ampla maioria dos casos, é feita através de tubulações e conjuntos de motores e bombas hidráulicas necessárias para esse fim. Esses equipamentos funcionam consumindo uma quantidade de energia elétrica proporcional a sua potência. Um dos inconvenientes nesses casos é que quanto maior a distância entre manancial de captação e o consumidor final, maior é a demanda de potência dos motores e bombas, com isso, maior demanda de energia elétrica para seu funcionamento. Este problema acarreta no aumento dos custos e do valor agregado à produção da água tornando-a mais onerosa para as companhias.

No Brasil, uma parcela substancial da matriz energética total é consumida pelas companhias de saneamento na ordem de 2% e dessa parcela, cerca de 90% é destinada ao funcionamento de equipamentos no tratamento de água e esgotos sanitários e motor-bombas de elevatórias responsáveis pelo transporte de água.

Os sistemas de adução, comumente chamados de elevatórias de água, contam com motores elétricos acoplados a bombas hidráulicas que são responsáveis pelo consumo destas grandes quantidades de energia elétrica.

Muitas vezes as elevatórias são equipadas não apenas com um conjunto motor-bomba, mas sim, com vários conjuntos operando hora simultaneamente hora em revezamento de acordo com as demandas horárias, diárias ou níveis dinâmicos dos reservatórios que compõem o sistema.

Este cenário deixa evidente tamanha dificuldade de operação de um sistema de abastecimento de água, visto que as demandas são variáveis no decorrer um dia, nos diferentes dias semana e ainda influenciadas por fenômenos de sazonalidade e até mesmo pelas variações climáticas ocasionadas pelas estações do ano. Esses eventos de flutuação de

demandas torna muito complexa a dinâmica de operação do sistema e dificulta as tomadas de decisão dos operadores, no que se refere aos acionamentos e desligamento dos CMB.

A operação de um sistema de abastecimento pode, por sua vez, envolver grande número de outros elementos ou equipamentos cujo estado pode ser alterado para que algumas grandezas hidráulicas ou elétricas atinjam valores desejados ou previamente definidos chamados de “*set points*”, como níveis de reservatórios e posição diversas válvulas de controle para equalização de vazões ou pressões.

A grande quantidade de variáveis e de elementos a serem monitorados e operados acaba dificultando a visualização de todos os senários possíveis para o abastecimento, e isso dificulta seu gerenciamento e operação.

Segundo Pedrosa Filho (2006) o grande número de elementos passíveis de terem seus estados alterados a cada hora, torna complexa a tarefa dos operadores desses sistemas em definir, num determinado instante, qual a melhor combinação do estado operacional das bombas e grau de abertura das válvulas, de forma a tornar o sistema mais eficiente em termos energéticos. Devido a esta elevada complexidade, a busca da decisão mais adequada em termos de política operacional só pode ser feita com o auxílio de processos otimizados a serem obtidos mediante rotinas computacionais apropriadas. Sem um planejamento de otimização, os sistemas de produção de água para abastecimento continuam desperdiçando uma parcela razoável de energia elétrica.

Segundo Tsutiya (2001), para otimização da operação de sistemas de bombeamento de água é fundamental uma programação inteligente das bombas, pois o consumo nas estações elevatórias pode representar até 90% do custo total de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água.

Com o avanço das tecnologias e desenvolvimento de novos equipamentos e *softwares* hoje é possível elaborar modelos computacionais avançados no âmbito da hidráulica podendo ser utilizados para otimizar a operação dos sistemas de abastecimento. Apesar dos custos significativos de aquisição dessas tecnologias, sua instalação e capacitação de pessoal, a modernização das companhias de saneamento torna-se cada vez mais atrativo, e essas passam a investir mais na otimização operacional visando alcançar maior eficiência energética e hidráulica para reduzir seus custos. Segundo Righetto (2001) é imprescindível à aplicação de modernas tecnologias a esses sistemas, como forma de melhor viabilizar seu funcionamento.

O controle das variáveis e grandezas elétricas e hidráulicas que regem a operação e o funcionamento dos sistemas de abastecimento de água é imprescindível para que estes tenham

seus custos de produção minimizados e isso inclui a diminuição das perdas reais de água pelo controle e redução de pressões manométricas. O controle de pressão em um sistema de abastecimento é determinante para um desempenho técnico e econômico satisfatório do sistema (SAULO E CHEUNG, 2013).

Com o surgimento de novas tecnologias, um grande campo de pesquisas se abre na busca da melhoria da eficiência energética das estações de bombeamento, envolvendo parâmetros como confiabilidade operacional e satisfação quanto ao atendimento das demandas. Nas últimas duas décadas, com o acelerado desenvolvimento dos recursos computacionais, aliados a sua facilidade de aplicação, a modelagem matemática de problemas complexos vem ganhando qualidade e eficiência, fazendo com que a pesquisa operacional venha ser explorada com mais intensidade na área de recursos hídricos, especialmente no setor de sistemas públicos de abastecimento de água, ao promover investigações teóricas e práticas na busca de projetos e operações mais eficientes (PEDROSA FILHO, 2006).

Os *softwares* de modelagem hidráulica podem ser utilizados para criar cenários virtuais diversos e simular as diferentes tomadas de decisão de operadores antes mesmo que essas sejam implementados. Uma grande vantagem de utilizar estes modelos computacionais é a possibilidade de realizar milhares de cálculos em um curto espaço de tempo e assim auxiliar na análise das melhores opções de operação que satisfaçam objetivos previamente estabelecidos.

Outra poderosa ferramenta que tem ganhado força são os sistemas computacionais de controle, que também tem o objetivo de aperfeiçoar a operação de unidades de abastecimento. Esses sistemas de controle tem a capacidade de observar o modelo ou sistema real, coletar informações, analisar dados, projetar possíveis cenários e por fim indicar para o operador as melhores opções de operação.

É preciso considerar que mesmo antes de tomar decisões ou aplicar estas técnicas no sentido de melhorar um sistema de abastecimento de água, é preciso conhecê-lo detalhadamente no que se refere as suas características físicas, seu desempenho energético e principalmente suas restrições hidráulicas. Para alcançar tal nível de conhecimento sobre determinado sistema é preciso realizar um diagnóstico hidroenergético.

Um diagnóstico hidroenergético em um sistema de abastecimento de água trata-se da aplicação de um conjunto de técnicas e procedimentos sistemáticos de investigação prática que permitem levantar informações relevantes a sua dinâmica de funcionamento de forma suficiente para avaliar seu desempenho e subsidiar intervenções estruturais e operacionais.

Pode-se dizer que um diagnóstico inclui fases de levantamento histórico cadastral do sistema, diagramas hidráulico e elétrico, manuais de equipamentos instalados, histórico de rotinas operacionais, instalação de instrumentos de medição de parâmetros elétricos, hidráulicos e mecânicos e avaliação de desempenho do cenário real de funcionamento.

Na Paraíba o emprego de tecnologias voltadas para a efficientização de sistemas adutores de água e de abastecimento ainda se mostra insipiente, porém nos últimos anos a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA vem desenvolvendo programas e parcerias com instituições acadêmicas como a Universidade Federal da Paraíba com o objetivo de melhorar o gerenciamento de suas instalações a partir da capacitação técnica e da implementação de novos métodos de efficientização hidroenergética. Assim esse trabalho teve como objeto de estudo a Estação Elevatória de Água Tratada Mario Andreazza, localizada na Cidade de João Pessoa – PB, e administrada pela CAGEPA.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é a realização de um diagnóstico hidroenergético na Estação Elevatória de Água Tratada Mario Andreazza e a aplicação dos conceitos de algoritmos genéticos para obtenção de rotinas operacionais otimizadas.

1.1.2. Objetivos específicos

- i. Realizar levantamento das grandezas elétricas e hidráulicas do sistema a partir da instalação de equipamentos de medição e aquisição dos dados;
- ii. Realizar um diagnóstico hidroenergético e operacional do sistema a partir dos dados coletados e estabelecer um cenário de base;
- iii. Desenvolver um modelo de otimização aplicável ao sistema de abastecimento de água estudado, capaz de definir regras operacionais que atendam as condições típicas de funcionamento de modo a reduzir os custos de bombeamento de forma a atender os volumes de demanda e sem violar as restrições operacionais e hidráulicas do sistema.
- iv. Criar um modelo computacional no ambiente do *software* EPANET 2.0 representativo e compatível com sistema de abastecimento Mario Andreazza, para avaliação de desempenho das alternativas de otimização;
- v. Avaliar a aplicabilidade do modelo de otimização pela análise e interpretação dos resultados obtidos, com vistas a minimização dos custos com energia elétrica.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO DE DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada em 5 tópicos, além das referências bibliográficas.

Esse primeiro tópico apresenta, resumidamente, a problemática energética e operacional dos sistemas de bombeamento de água no Brasil e a importância de práticas de eficiência energética neste setor, além do objetivo geral e dos específicos desse trabalho.

O tópico 2 aborda a fundamentação teórica, que tem como objetivo descrever conceitos e trabalhos relevantes para o desenvolvimento desse estudo.

O tópico 3 apresenta a metodologia escolhida para o desenvolvimento desse trabalho. Este capítulo descreve os procedimentos da realização do diagnóstico hidroenergético fazendo uma descrição detalhada de seus objetivos e fases de realização. Ainda neste capítulo é apresentado o modelo de efficientização proposto e as ferramentas computacionais para sua implementação.

O tópico 4 é apresentado os resultados da aplicação das metodologias propostas neste trabalho, realizando discussões pertinentes ao problema.

O tópico 5 apresenta as conclusões e recomendações, a partir das discussões dos resultados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No mundo contemporâneo é evidente a necessidade de se buscar o uso racional dos recursos naturais e do meio ambiente, pois essa prática se mostra indispensável para a manutenção do setor produtivo assim como para o bom desenvolvimento social e econômico dos povos.

No âmbito do saneamento básico, os desperdícios de água e energia elétrica são substanciais e tendem a onerar bastante as companhias de abastecimento tornando a produção mais cara e ineficiente.

Uma parcela substancial da energia consumida pelos sistemas de abastecimento de água é perdida por ineficiência energética numa ordem de aproximadamente 25% (GOMES, 2009).

Essas perdas se dão por motivos diversos, entre eles, destacam-se as características de projetos antigos que outrora não davam tanta importância ao consumo de energia na operação motores e bombas em detrimento dos custos de instalação principalmente de tubos de adutoras, uma vez que em décadas passadas havia subsídios que barateavam o preço da energia elétrica.

Segundo Gomes (2009), no Brasil e no mundo, tem-se reduzido os subsídios dados pelo poder público para a diminuição dos custos dos insumos água e energia, necessários aos projetos da área de saneamento. Esta diminuição dos subsídios, principalmente de energia elétrica, tem aumentado consideravelmente os custos energéticos nas empresas concessionárias de abastecimento de água. Estes custos, em muitas companhias representam o segundo item das despesas de exploração, ficando atrás apenas dos gastos com mão-de-obra.

De acordo com Tarquin e Dowdy (1989), um dos itens mais caros nos orçamentos das empresas de saneamento básico, são os custos provenientes com o bombeamento de água para distribuição. Pezeshk e Heluway (1996), a otimização das operações de bombeamento pode gerar economias significativas.

Outro fator tão importante quanto o primeiro é a falta de manutenção de equipamentos e a ineficiência operacional dos sistemas de abastecimento.

Procedimentos operacionais ineficientes ou equivocados no gerenciamento de um sistema de abastecimento de água podem ocasionar em perdas significativas de água e energia. Esses procedimentos envolvem o acionamento e desligamento de conjuntos motobomba em função das demandas horárias ou diárias de consumo de água e dos níveis

dinâmicos de reservatórios a fim de garantir aos consumidores um abastecimento de água contínuo e de qualidade.

A problemática operacional se dá pelo fato de que existe não só uma solução ou arranjo que atenda as demandas, mais sim, inúmeros cenários que atendem as condições de demanda de água e cada um com um custo energético associado. Isso acontece em regiões em que o custo da energia elétrica é diferenciado, ou seja, o valor cobrado pelo consumo de energia elétrica pode ser mais caro ou barato em diferentes horários do dia.

A tomada de decisão e acertada do operador de é determinante para o bom funcionamento do sistema e sua qualidade em termos eficiência energética.

2.1. OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

De acordo com Cunha (2009), a operação de sistemas de abastecimento de água tem o objetivo de garantir o atendimento das necessidades de consumo de forma confiável e custos operacionais mínimos, tais como consumo de energia e manutenção de equipamentos. O atendimento de tais requisitos implica num melhor aproveitamento do sistema de transporte e reservação. Pode-se então dizer que a operação de um sistema é a sequência de manobras exercidas sobre os seus elementos ativos, tais como válvulas e bombas, de forma a atendes esses objetivos.

Dentre as unidades de um sistema de abastecimento de água, que incluem principalmente as unidades de captação, tratamento, reservação e as estações de bombeamento, esta ultima é a que apresenta maior complexidade com relação às questões de custos, confiabilidade e flexibilidade. Sendo assim, é bastante comum encontrar modelos de otimização operacional considerando exclusivamente o funcionamento desta unidade.

Existem varias formas de operação que podem ser implementadas e essas variam bastante de acordo com a complexidade dos sistemas e o emprego de tecnologias nestes. Segundo (Borges, 2003, Carrijo, 2004, Cunha, 2009 e Gebrim, 2013), é possível classificar as formas de mais adotadas de controle em: manual, automático, automático programado e centralizado.

A operação manual é normalmente aplicada a sistemas de pouca complexidade com configurações simples em termos de equipamentos instalados. Nesse tipo de controle um funcionário denominado “operador” é responsável por realizar, *in loco*, manobras em válvulas, acionamento e desligamento de motores em horários pré-determinados ou em

função de níveis mínimos e máximos de reservatórios. Nesse caso o operador não detém conhecimento amplo ou integral do sistema.

A operação manual apresenta-se bastante vulnerável em termos de confiabilidade. A questão se dá por sua dependência de ações humanizadas passíveis de falhas do operador, como atraso ou precipitação de horários de acionamentos de motores e manobras de válvulas ou erros de leitura de instrumentos.

A operação automática é bastante semelhante à primeira, porém as ações de leitura de instrumentos e manobras de equipamentos são realizadas por equipamentos automáticos como boias, sensores diversos, relés etc. Segundo Gebrim (2013), este tipo de operação pode também ser mais elaborado, incluindo a análise de mais de um parâmetro e incorporando rotinas programáveis aplicadas em CLP (Controladores Lógicos Programáveis). O que define essa operação é o fato de haver apenas a análise das condições locais, não dependendo da quantidade de parâmetros analisados, nem da existência de programação computadorizada. Assim como a operação manual, o controle automático considera apenas às condições locais e sua aplicação é voltada para sistemas de pouca complexidade.

A confiabilidade deste tipo de operação é determinada pela qualidade do projeto de automação e dos equipamentos instalados, tendendo a ser mais eficiente que o primeiro.

A operação automática programável envolve necessariamente a utilização de um Controlador Lógico Programável – CLP que por sua vez deve estar munido de rotinas operacionais pré-programadas com capacidade de coleta e análise de dados advindos de vários locais remotos do sistema. Ao trabalhar com uma maior quantidade de variáveis, a operação automática através da CLP pode analisar vários dados de forma integrada, buscando o melhor ajuste de operação para o sistema.

No modelo de operação centralizada todas as decisões sobre as rotinas operacionais estão a cargo de uma Central de Controle Operacional ou apenas CCO. Esta central pode contar com vários profissionais experientes trabalhando em conjunto para buscar e decidir o melhor ajuste para o sistema. Para a tomada das diversas decisões de operação, esta central baseia-se em inúmeras informações coletadas do sistema, seja por telemetria ou coletadas por auxiliares e repassadas por rádio ou telefone. Após a tomada de decisão, as ações podem ser efetuadas por operadores distribuídos em diversas unidades ou automaticamente para os elementos do sistema através de um *software* supervisor em comunicação com uma CLP remota ou várias delas.

Pedrosa Filho (2006), numa tentativa de melhorar o processo do sistema de produção de água e gerenciar tantas variáveis de controle com um mínimo de racionalidade, as empresas de saneamento criaram internamente os Centros de Controle Operacional - CCO, para receber informações a intervalos regulares do estado das bombas (ligada/desligada), percentual de abertura das válvulas e valor da lâmina de água dos reservatórios do sistema. Com base nesses dados o operador tem uma visão por inteiro do comportamento do sistema e, apoiado na sua experiência profissional, põe em prática certa regra operacional e a mantém invariável até que vislumbre a necessidade de reformular seu planejamento a partir de novas informações recebidas ou alguma ocorrência acidental no sistema.

Cunha (2009) destaca que, independentemente da forma de operação utilizada o que acontece na maioria dos sistemas do mundo inteiro é que as regras operacionais implementadas são de natureza empírica, e visam, principalmente, a garantia da continuidade do abastecimento público, sem vistas à minimização dos custos com energia elétrica.

As regras operacionais dependem das experiências anteriores adquiridas por operadores que conhecem razoavelmente o comportamento dinâmico do sistema. Após analisar uma situação atual esses operadores traçam as regras ou rotinas que serão transmitidas às equipes de campo, operadores remotos ou automaticamente via supervisorio.

2.2. PLANEJAMENTO OPERACIONAL DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Para fins de entendimento, no tocante sobre planejamento operacional de sistemas de abastecimento de água, deve-se considerar que esses sistemas são compostos por diversas estruturas e equipamentos que se interligam e operam de forma conjunta para transportar água dentro de padrões de qualidade, do manancial até o usuário. Captações, adutoras, estações elevatórias, estações de tratamento, reservatórios e redes de distribuição devem funcionar de maneira integrada para que a população receba água de qualidade, com continuidade e dentro de limites de pressão admissíveis (GEBRIM, 2013).

Para garantir um bom funcionamento dos sistemas de abastecimento, ou seja, para que a água seja captada, tratada, reservada e distribuída ao consumidor final respeitando os critérios estabelecidos de qualidade, vazão e pressão, é necessário um bom planejamento das ações de gestão e operação desses sistemas.

O planejamento operacional envolve não apenas ações imediatistas direcionadas às unidades já existentes e em atividade, mas também a realização de projeções que vislumbrem

a expansão de sistemas em função do crescimento populacional e/ou mudanças de padrões de consumo a médio e longo prazo. Obrandovic e Lonsdale (1998) classificaram o planejamento das atividades operacionais em três níveis distintos de planejamento: longo, médio e curto prazo.

Gebrim (2013) descreve que planejamento de longo prazo é a atividade que dá suporte à definição de novos sistemas de abastecimento. Considera o uso de novas fontes e sua implantação costuma ser composta de ações que envolvem obras de engenharia de porte considerável. Deve ser integrado ao planejamento urbano, de forma a atender as demandas futuras nos momentos em que elas ocorrem, evitando a sobrecarga dos sistemas existentes e a ociosidade dos recém implantados. As informações utilizadas nesse tipo de análise são baseadas em dados de projeção populacional e valores referenciais de consumo per capita. Os dados normalmente são oriundos de planos diretores e utilizam como referência os horizontes finais de projeto.

O planejamento de médio prazo é a atividade que contempla basicamente a análise dos sistemas já em operação. Busca definir melhorias operacionais para o atendimento das demandas já existentes, ou mudanças operacionais para o atendimento dos incrementos de demanda a serem absorvidos nos sistemas já instalados. Envolve principalmente a análise das capacidades das estruturas já implantadas e, normalmente, propõe alterações nos contratos de energia elétrica, aumento nas capacidades de bombeamento e reservação. Sua execução pode contemplar algumas obras e adaptações, mas está fundamentado na melhoria do sistema já existente. Suas análises normalmente são feitas com base em padrões médios de demanda e de custos médios de operação e podem definir regras operacionais de nível estratégico.

O planejamento de curto prazo consiste basicamente na definição das regras operacionais que serão adotadas nas próximas horas ou nos próximos dias. Essa análise deve considerar as previsões futuras e as variações instantâneas de consumo. Deve ser capaz de reagir aos eventos de falhas no sistema de abastecimento. Suas análises devem ser feitas com base em dados instantâneos, fornecidos em tempo real, e as regras operacionais devem possibilitar aplicação imediata. A eficiência desse gerenciamento está intimamente ligada à forma de controle adotada no sistema, dependendo da estrutura de transmissão de dados e do nível de automação implantado.

2.3. REDUÇÃO DE CUSTOS DE BOMBEAMENTO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Existem algumas frentes onde é possível atuar de forma a minimizar os custos energéticos. Segundo Tsutiya (2001) as alternativas para redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água, podem ser agrupadas nas seguintes categorias: 1 – conhecimento do sistema tarifário; 2 – redução da potência do equipamento; 3 – alteração do sistema operacional; 4 – automação do sistema de abastecimento de água; 5 – geração de energia elétrica.

O principal objetivo da otimização operacional de sistemas de abastecimento de água é a redução dos custos energéticos de bombeamento sem penalizar o contínuo abastecimento de água com vazão e pressão adequadas.

Para Tsutiya (2001), uma redução do custo de energia pela alteração do sistema operacional, pode ser alcançada pela alteração do sistema bombeamento-reservação e utilização de bombas com rotação variável, sendo a primeira opção caracterizada por alternativas operacionais com o objetivo de reduzir o custo com energia elétrica, como por exemplo, a diminuição ou interrupção do bombeamento em horários de ponta onde as tarifas de energia são mais caras.

2.3.1. Estrutura tarifária

Para efeito de faturamento, o artigo 2º do Decreto Federal n.º 62.724, de 17 de maio de 1968 – Normas Gerais de Tarificação -, determina que as unidades consumidoras de energia elétrica sejam agrupadas em duas modalidades tarifárias, Grupo A e Grupo B.

Tabela 1 – Classificação dos consumidores de alta tensão.

Subgrupos	Tensão de Fornecimento
A1	≥ 203 kV
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 kV a 44 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	$\leq 2,3$ kV, atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição, faturadas no grupo A em caráter opcional.

*Adaptado de Gomes (2009)

Os consumidores (grupo A), ditos de alta tensão, tem uma tarifa binômia, ou seja, sou faturado tanto pela demanda máxima de energia, quanto pela energia elétrica consumida. A resolução ANEEL 456, em seu artigo 2º, incisos XVII e XVIII, divide estes grupos em subgrupos de acordo com a tensão de fornecimento como pode ser observado na Tabela 1.

Os consumidores cuja tensão de fornecimento é inferior a 2,3 KV são ditos de baixa tensão (grupo B), estes têm tarifa monômia e são faturados apenas pela energia consumida.

Segundo Gomes (2009), as tarifas de energia elétrica no Brasil são diferenciadas em função da tensão de alimentação, para as unidades consumidoras do grupo A, e da classe de consumo, para as unidades consumidoras do grupo B. Os valores destas tarifas estão agrupados em duas estruturas tarifárias: convencional e horossazonal.

Na *Estrutura Tarifária Convencional*, a aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica independe do horário de utilização do dia ou do período do ano e pode ainda dividir-se em duas modalidades, Tarifa Monômia, aplicável exclusivamente às unidades consumidoras do grupo B e Tarifa Binômia, constituída por preços aplicáveis às componentes de consumo de energia e demanda faturável.

Na *Estrutura Tarifária Horossazonal* ocorre tarifação diferenciada de acordo com o horário de utilização do dia e do período do ano. Esses tipos de tarifação dividem-se em:

- Tarifação horossazonal azul: é caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de acordo com as horas de utilização do dia e diferentes períodos do ano para o consumo de energia elétrica ativa e também para demandas de potência ativa.
- Tarifação horossazonal verde: é caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de acordo com as horas de utilização do dia e diferentes períodos do ano apenas para o consumo de energia elétrica ativa sendo realizada tarifação única para demanda de energia potência ativa.
- Horário de ponta: é definido como período do dia, geralmente de 3 horas consecutivas das 17h30minh às 20h30minh, onde o custo de utilização da energia é mais elevado.
- Horário fora de ponta: é o intervalo de horas consecutivas alheias ou complementares àquelas definidas como horário de ponta.

2.3.2. Redução de potência de conjuntos motobomba

Os conjuntos motobomba são compostos de um motor elétrico acoplado a uma bomba hidráulica. Esses equipamentos são capazes de mover ou impulsionar fluidos através de condutos pressurizados, fazendo com que o líquido seja transportado de um lugar a outro

vencendo até mesmo a ação da gravidade e as perdas de carga no interior das tubulações. Para isso, a fornecida aos motores elétricos é convertida em energia mecânica e em energia hidráulica pelas bombas.

A energia elétrica consumida por esses equipamentos é proporcional à altura manométrica de bombeamento e ao volume de água bombeado. A altura é dada pelo desnível geométrico entre o ponto de captação da água a ser bombeada e o ponto de maior cota topográfica da linha de adução, que nem sempre é o ponto de desagüe e o volume bombeado é função das demandas de consumo horário e diário. Segundo Gomes (2012), a energia consumida pelos conjuntos motobomba em kWh, pode ser expressa pela **Equação 1**.

$$E = 0,00273 \frac{HV}{\eta} \quad (1)$$

Onde, E é a energia consumida em kWh, H é a altura manométrica de bombeamento, em mca, V é o volume de água bombeada, em m³ e η é o rendimento global do conjunto, valor adimensional dito pelo produto entre o rendimento do motor elétrico e o da bomba hidráulica.

A Equação 1 mostra que para redução da energia consumida pelos equipamentos de impulsão, é necessário reduzir a altura manométrica de bombeamento ou o volume de água bombeado. Por outro lado, também é possível reduzir esse consumo de energia pela substituição desses equipamentos por outros com maior rendimento.

A redução da altura manométrica se dá pela adequação das tubulações da linha adutora seja pela substituição das mesmas por outras com maior diâmetro ou pela remoção de incrustações que aumentam as perdas pela redução da seção transversal de escoamento.

A redução do consumo de energia também pode ser alcançada pela redução do volume de água bombeada. Essa demanda de água pode ser reduzida adotando uma política de gestão visando ações de combate às perdas de água principalmente nas redes de distribuição. Na Tabela 2 verificar que as perdas de água nos sistemas de abastecimento podem atingir níveis superiores a 70% em algumas cidades brasileiras.

Tabela 2 - Índices de perdas dos prestadores de serviços regionais do Brasil.

Prestadora de Serviço	IP_f	IP_d	IP_L	IP_e
	(%)	(%)	L/ligação/dia	L/Km/dia
Região Norte	53,4	53,2	649,4	38,9
Caer/RR	57,1	51,0	668,7	34,4
Caerd/RD	68,7	68,7	1.367,8	48,2
Caesa/AP	72,0	72,0	2.057,5	150,6
Cosama/AM	83,1	83,2	2.088,9	111,6
Cosanpa/PA	46,0	46,1	495,0	41,0
Deas/AC	60,6	60,6	822,3	32,5
Saneatins/TO	23,8	26,4	171,3	9,3
Região Nordeste	45,1	49,3	470,5	44,0
Agespisa/PI	53,9	39,6	374,5	39,3
Caema/MA	67,6	57,2	822,2	62,2
Caern/RN	29,0	48,2	514,4	49,1
Cagece/CE	33,7	36,4	271,7	30,8
Cagepa/PB	39,6	49,7	409,4	58,2
Casal/AL	52,8	57,1	598,4	54,7
Compesa/PE	59,7	67,4	770,3	85,5
Deso/PE	40,5	47,4	436,1	30,9
Embrasa/BA	33,0	38,0	317,9	24,4
Região Sudeste	39,8	44,0	621,9	55,1
Cedae/RJ	54,6	54,6	1.829,0	148,1
Cesan/ES	32,5	41,4	618,8	45,2
Copasa/MG	30,7	34,6	264,2	20,8
Sabesp/SP	33,8	40,4	511,7	50,5
Região Sul	26,6	43,0	346,7	21,0
Casan/SC	31,9	45,4	391,9	22,0
Corsan/RS	26,1	49,7	438,7	29,1
Sanepar/PR	25,2	36,6	269,7	15,8
Centro-oeste	32,9	36,4	314,4	19,7
Caesb/DF	23,7	30,2	403,7	26,9
Saneago/GO	38,1	38,1	273,3	16,9
Sanesul/MT	36,2	44,5	345,7	20,6
Média Total	39,5	45,1	508,4	40,4

Adaptado (GOMES, 2009)

2.3.3. Alterações nas rotinas operacionais

As alterações nas rotinas operacionais, ou seja, nas regras de operação do sistema de abastecimento implica em mudanças não apenas no bombeamento, mas também no sistema de reservatórios ou reservação.

As mudanças no sistema de bombeamento-reservação podem aperfeiçoar o processo de abastecimento, porém não necessariamente reduzir o consumo de energia, o que ocorre na verdade é a possibilidade de redução dos custos de operação. Os custos de operação são minimizados uma vez que esse tipo de alterações proporciona um melhor uso da capacidade volumétrica dos reservatórios, fazendo com que eles operem de forma dinâmica e inteligente.

Os procedimentos otimizados na operação de reservatórios podem reduzir ou até mesmo eliminar a necessidade de bombeamento nos horários onde a energia é mais cara chamado de horários-de-ponta (geralmente entre as 18 e 21 horas), favorecendo uma redução substancial nos custos com a concessionária de energia elétrica. A ideia central é reduzir ou eliminar o número de equipamentos funcionando no intervalo do dia onde a tarifa de energia é mais alta.

As mudanças operacionais podem ser otimizadas pelo bom planejamento das regras de operação podendo, para isso, fazer uso de *softwares* de simulação hidráulica ou modelos matemáticos que de alguma forma auxilie o operador nas tomadas de decisão a cerca do melhor cenário para o sistema.

Segundo Gomes (2009), surgiram nos últimos anos ferramentas computacionais com capacidade de representar sistemas físicos e auxiliar nas tomadas de decisão com o propósito de melhorar a eficiência da operação. São modelos computacionais onde é possível simular cronologicamente senários de operação de um sistema de abastecimento de água. Devido ao avanço da informática nos últimos anos, existem vários *softwares* de modelagem destinados à simulação e análise de sistemas de abastecimento de água.

Em síntese, esses modelos podem ajudar ao operador do sistema a analisar alternativas de gestão e avaliar possíveis ações que possam diminuir o consumo de energia elétrica, os custos de operação e até perdas reais de água.

2.3.4. Automação de sistemas de abastecimento

A automação é a aplicação de um conjunto de técnicas de engenharias e instrumentação em um processo, cujas finalidades são aperfeiçoar o controle de variáveis, padronização de produtos, redução de custos de produção, aumento da confiabilidade do

processo, garantir a segurança de operadores, melhorar a eficiência energética, reduzir ou eliminar do processo sua dependência de ações operacionais humanizadas.

A evolução das técnicas de automação permitiu o surgimento de processos cada vez mais complexos possivelmente inviáveis de serem realizados apenas por controles manuais.

São inúmeros os benefícios atrelados à automação. Processos dessa natureza são geralmente mais eficientes, seguros e seus produtos mais padronizados. Em geral o processo tende a produzir em maior quantidade, em menos tempo, consumir menos energia e insumos, e produzir menos resíduos.

A implementação de automação requer um amplo conhecimento da dinâmica dos processos e dos objetivos a serem alcançados. As decisões direcionadas ao seu funcionamento poderão ser previamente definidas e executadas automaticamente a por equipamentos que compõe o sistema automatizado. Faz parte do processo de automatização a instalação de instrumentos eletromecânicos e eletrônicos capazes de realizar tarefas tais como leitura de variáveis, registro, armazenamento e transmissão de dados, atuação direta como válvulas automáticas e atuação indireta como inversores de frequência. Esse ramo do conhecimento técnico relacionado à definição, instalação e operação de equipamentos dessa natureza é chamado de instrumentação e é parte integrante da automação.

Em termos técnicos é possível implementar um nível aceitável de automação em qualquer planta já existente, porém em casos onde há incompatibilidade estrutural ou inadequada pode ser necessário criar essas condições realizando adequações nas mesmas, podendo tornar o processo oneroso e economicamente inviável.

Para evitar esse tipo de inconveniente, os novos projetos devem vislumbrar a instalação de equipamentos que irão compor sua automação, mesmo que esta seja implementada de forma gradual. Também deve ser considerada as possíveis expansões do sistema num horizonte condizente com o processo.

No âmbito das companhias de saneamento do Brasil a automação ganhou força e hoje é uma realidade. Muitas dessas empresas já dispõem de divisões especializadas que se dedicam à adequação e elaboração de projetos desta natureza. Isso se dá pela grande necessidade de controlar de forma mais eficiente seus processos e também de acompanhar a modernização de outros setores industriais.

Para o setor do saneamento existem vários atrativos que podem justificar o investimento em automação, entre eles destacam-se a possibilidade de melhoria da qualidade

do tratamento da água, redução de custos operacionais e controle de perdas reais¹ e aparentes² de água.

Além de permitir um melhor controle sobre o processo, aumento de segurança, qualidade e redução de custos, a automação proporciona uma significativa melhora na confiabilidade do processo, pois diversas falhas podem ser facilmente detectadas ou até mesmo previstas por instrumentos, de modo que ações de manutenção preventiva e corretivas sejam realizadas em um curto período de tempo.

Segundo Gomes (2009), as falhas variam de sistema para sistema, e de forma geral, pode-se citar:

- Falhas de equipamentos (motores, conversores, válvulas etc.).
- Falhas de instrumentação.
- Falta de energia.
- Nível baixo ou extravasamento de reservatórios.
- Pressões insuficientes ou elevadas.
- Vazões baixas ou elevadas.
- Problemas estruturais.
- Rupturas de tubulações.
- Segurança dos componentes contra roubo e danos.
- Vazamentos.

Nos sistemas de abastecimento, dentro de seus processos é possível monitorar inúmeras variáveis como níveis de reservatórios e mananciais, vazões de bombeamento, pressões em linhas de adução e distribuição de água, monitoramento de parâmetros de qualidade da água, temperatura de motores etc. Além do monitoramento é possível também, em um sistema de abastecimento automatizado, controlar diversos equipamentos de forma automática ou remota como, por exemplo, realizar acionamentos de motobombas e controlar posições de abertura de válvulas diversas. Essa flexibilidade contribui para operação eficiente de um sistema de abastecimento de água.

Dentre os vários equipamentos e instrumentos que compõe a automação de um sistema, os Controladores Lógicos Programáveis – CLPs – merecem destaque. Esses equipamentos são geralmente utilizados em projetos mais elaborados que necessitam que

maior robustez no que se refere à quantidade de variáveis a serem monitoradas e/ou controladas e na complexidade das instruções de controle necessárias para operação do sistema.

As CLPs são equipamentos eletroeletrônicos dotados de memória interna e elementos de entrada e saída, físicas e lógicas, chamados de portas, nas quais instrumentos de leitura e controle, como sensores e atuadores, são conectados, e que tem como objetivo principal, ser o interlocutor entre o operador ou Inteligência Artificial – I.A e o processo em si, interpretando os sinais elétricos emitidos por esses diversos instrumentos, através de parametrizações.

Os controladores lógicos possuem uma memória interna que permite introduzir programação computacional de regras operacionais para serem executadas que podem ser compostas de rotinas pré-definidas fixas e cíclicas ou programações baseadas em lógicas flexíveis inteligentes como, por exemplo: lógica fuzzy, redes neurais artificiais, programação linear e não-linear, algoritmos genéticos e outras várias.

2.4. TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO

Existem várias técnicas direcionadas para a otimização operacional de sistemas elevatórios e abastecimento de água. Algumas dessas técnicas tratam de utilizar ferramentas computacionais para otimizar as regras ou rotinas de operação de sistemas de adução com vistas a reduzir os custos de energia elétrica.

Já na década de 60, estudos com vistas a otimização de sistemas de distribuição de água ganhava destaque na comunidade científica especializada, Karmeli et al.(1968). Nos últimos anos, surgiram inúmeros modelos de otimização aplicáveis a sistemas de abastecimento de água, resultando uma vasta literatura sobre o tema.

Albuquerque (2007), apresentou um estudo de análise de três métodos de otimização sendo eles, programação linear, não-linear e Algoritmo genético com o objetivo de estabelecer diretrizes para o desenvolvimento de um sistema que dê apoio ao controle operacional para o sistema de abastecimento de água da cidade de Campina Grande - PB, na determinação dos horários de funcionamento dos conjuntos motor-bomba, evitando o horário de ponta e subsidiar regras de operação do sistema para garantir o fornecimento de água tratada ao abastecimento da cidade e promover linhas de ação que visem o incremento na economia dos custos de eletricidade da Empresa, inclusive visando baixar o índice de perdas físicas, através transbordamentos de reservatórios, para níveis aceitáveis.

As técnicas ou modelos de otimização são algoritmos matemáticos que procuram identificar os pontos máximos ou mínimos de funções denominadas *funções objetivo*. Essas funções são capazes de representar os objetivos de operação a serem alcançados.

Os objetivos que serão à base da construção dessas funções matemáticas, podem diferenciar de acordo com as peculiaridades do sistema ou com necessidades pré-estabelecidas pelos seus gestores. Os objetivos que mais tem se refletido nas funções objetivo de modelos de otimização estão baseados nos benefícios econômicos como a redução de custos de operação, a maximização da disponibilidade de água e a confiabilidade do sistema, minimização de perdas reais de água e minimização de custos de bombeamento.

A escolha de uma metodologia de otimização da operação de um sistema irá depender das características do sistema considerado, ou seja, não há um algoritmo geral ou generalista. Dentre as técnicas mais utilizadas na literatura destacam-se a Programação Linear, Programação Dinâmica, Programação Não Linear, Lógica Difusa, Redes Neurais e Algoritmos Genéticos.

2.5. ALGORITMOS GENÉTICOS

A abordagem da computação evolucionária (CE) foi experimentada para superar as complexidades, como múltiplos objetivos, a incerteza, não linearidade, descontinuidade e discretização que limitam as aplicações dos métodos de otimização analíticos na otimização de sistemas de abastecimento.

Os algoritmos genéticos (AG) são sistemas adaptativos dos Algoritmos Evolucionários baseados conceitualmente nos princípios da evolução natural e da adaptação (ROTHAN, MAYS, 2014). Os estudos de algoritmos genéticos se originaram em 1975 com Holland (OLIVEIRA, LOUCKS, 1997).

Holland (1975), propôs a construção de um algoritmo matemático para otimização em sistemas complexos baseado na teoria evolutiva das espécies sendo denominado de Algoritmo Genético. Segundo Filho e Poppi, (1998), este algoritmo aspirava simular matematicamente todo o mecanismo da evolução biológica, com todas suas características e vantagens.

Os Algoritmos Genéticos, que é um método de otimização estocástico, Goldberg (1989), surge da analogia entre otimização e os mecanismos da genética e evolução natural das espécies, combinando os conceitos de adaptação seletiva, troca de material genético e sobrevivência dos indivíduos mais adaptados. Esta técnica demonstra como principais

vantagens a sua capacidade para aperfeiçoar parâmetros contínuos ou discretos e as possíveis descontinuidades da função de adaptação têm pouco efeito no desempenho global e podem ser empregados para uma grande variedade de problemas.

Inspirado pelo mecanismo de seleção natural e evolução, Holland criou uma forma inteligente de busca randômica que explora a solução espacial com a finalidade de encontrar regiões promissoras e busca mais intensamente soluções nessas áreas. Desde então os AG tem sido aplicados em vários casos relacionando-as aos recursos hídricos, tais como calibração de modelos hidráulicos, modelos de routing de reservatórios, otimização de dimensionamento de redes de abastecimento de água, otimização de sistemas operacionais, entre outros.

Os AGs conseguem resolver problemas complexos de maneira simples. Como ocorre na natureza, o algoritmo não sabe o tipo de problema que está sendo resolvido, ele apenas busca selecionar, dentro de uma determinada população, os indivíduos que estão mais bem adaptados ao ambiente. Essa aptidão é medida por uma função matemática e os indivíduos que tem melhor aptidão possuem mais oportunidades de reprodução, imitando o processo evolucionário natural.

Pelo fato dos processos utilizados nos AGs serem análogos aos fenômenos observados na natureza, é comum que o termos utilizados sejam originários da biologia. Portanto, para um melhor entendimento no desenvolvimento do trabalho, apresenta-se a seguir uma lista com os principais termos utilizados na literatura:

- Cromossomo e genoma – é a estrutura de dados que codifica (representa) uma solução qualquer. Representam um simples ponto no espaço de busca, ou seja, uma possível solução do problema;
- Gene – é uma parte do código que representa a solução (cromossomo). Normalmente representa uma variável de decisão do problema;
- Indivíduo – é uma solução qualquer do problema. É um simples membro da população, representado por um cromossomo e seu respectivo valor de aptidão;
- Genótipo – representa a informação contida no cromossomo ou genoma;
- Fenótipo – representa o objeto, estrutura ou organismo construído a partir das informações do genótipo. É o cromossomo decodificado;
- Alelo – representa os valores que as variáveis de decisão do problema (genes) podem assumir;
- População – conjunto de soluções possíveis para o problema, onde cada solução é um indivíduo da população;

- Geração – é uma fase do processo de busca (processo evolutivo) formada por um conjunto de soluções (população);
- Elitismo – é uma estratégia comum utilizada nos AGs e baseia-se na transferência da melhor solução de uma geração para a geração seguinte, sem que haja alteração. Essa estratégia visa evitar que o melhor elemento de uma determinada geração falhe na produção de um descendente e acabe por produzir uma próxima geração pior que a anterior. Essa estratégia aumenta a velocidade de convergência do AG.

Outros termos comuns que são utilizados para denominar os procedimentos adotados no processo de busca são:

- Seleção – é o processo pelo qual as soluções (indivíduos) são escolhidas para gerar descendentes que comporão a próxima geração do problema;
- Cruzamento – é o processo que gera os descendentes de uma população, em que os códigos de duas soluções (pais) se combinam para gerar dois novos códigos (duas novas soluções – filhos);
- Mutação – é o processo que possibilita a introdução de novas características às soluções existentes pela alteração de elementos do código que representa a solução (cromossomo).

A dinâmica dos algoritmos genéticos se dá essencialmente com a definição de um conjunto de soluções iniciais, chamada de população inicial, e a partir desta população se inicia um processo de busca. Esse conjunto de soluções iniciais pode ser criado de forma aleatória, ou definido pelo próprio usuário do algoritmo. Ao se definida, cada solução ou indivíduo que integra a população inicial é avaliada e um valor de aptidão lhe é atribuído. Para aplicação de AGs, podemos descrever alguns passos básicos, como os descritos a seguir:

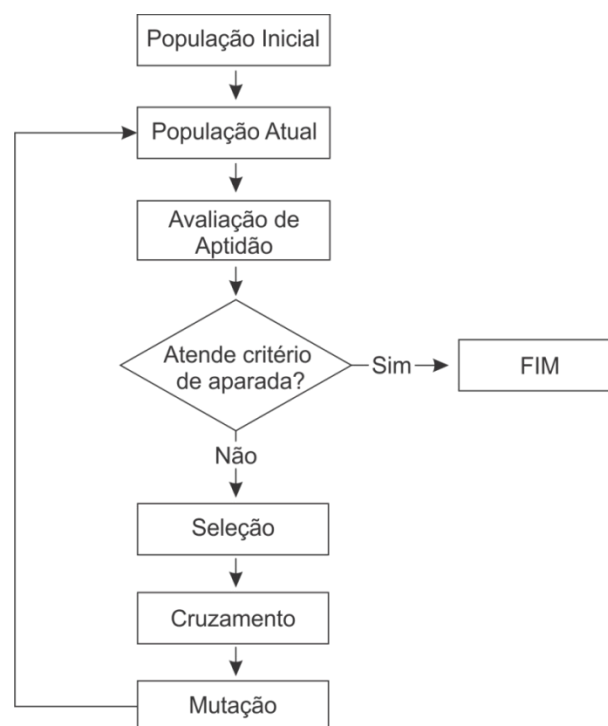
Inicialmente, determina-se uma população de indivíduos, os quais correspondem a possíveis soluções do problema. Posteriormente esses são avaliados para se analisar a sua adaptação ao ambiente no qual se encontram e assim são selecionados os melhores para reprodução. Os indivíduos obtidos irão naturalmente compartilhar algumas características dos pais. Após os processos de seleção e cruzamento é possível introduzir novas características na população aplicando um processo de mutação. A nova população terá sempre as características dos melhores indivíduos da geração anterior e o método deve ser repetido até se encontrar a convergência da população ao indivíduo mais apto ou até se atingir um número

pré-determinado de gerações. A Figura 1 mostra de forma simplificada um fluxograma de funcionamento de algoritmos genéticos.

Dado que os AGs são algoritmos estocásticos, ou seja, seu estado é indeterminado, baseado em eventos aleatórios, é necessário que sejam executados várias vezes para se obter uma boa resposta para o problema. Os algoritmos genéticos são construídos considerando parâmetros característicos do problema a ser otimizado. Segundo Villalba & Laier (2012) a definição dos parâmetros de configuração de um AG, como o tamanho da população, a taxa de mutação e a taxa de reprodução, está relacionada diretamente ao problema em questão e pode ser realizada por meio de pré-execuções do algoritmo ou usando heurísticas específicas para o caso estudado. Atualmente, tem-se desenvolvido AGs que permitem uma auto adaptação desses parâmetros, como explicado em Meyer-Nieberg e Beyer (2007).

De acordo com Pedrosa Filho (2006), o mais simples algoritmo genético, capaz de produzir bons resultados para a maioria dos problemas práticos, é constituído por três operadores que simulam a dinâmica de funcionamento dos cromossomos dos seres vivos, sendo eles: seleção, cruzamento e mutação.

Figura 1 – sistemática básica dos AGs



Fonte: adaptado Pedrosa Filho (2006)

Seleção: Nesse processo os indivíduos de menos adaptados tendem a ser removidos enquanto que os mais aptos tendem a se reproduzir passando adiante os valores do seu código genético para gerações ou interações posteriores. Em síntese, o é um processo de escolha que favorece os membros da população mais adaptados de acordo com valores dados pela função de aptidão. Dessa forma, quanto mais adaptada uma sequência de genes de um cromossomo maior sua chance participar da geração futura.

- **Método da Roleta:** nesse método se dá pela escolha de indivíduos de uma geração para fazer parte da próxima geração, a partir de um sorteio de roleta. Proporcionalmente ao seu índice de aptidão, os indivíduos são representados na roleta. Dependendo do tamanho da população A roleta é girada um determinado número de vezes e assim selecionados os indivíduos que participarão da próxima geração.
- **Seleção pela técnica de Torneio:** essa técnica propõe a comparação de pares aleatórios de indivíduos escolhendo os melhores para serem cromossomos pais na próxima geração. Assim o método encontra o cromossomo melhor adaptado.
- **Randômica:** nesse método de seleção, os cromossomos são escolhidos aleatoriamente dentro de um grupo e direcionados para constituir a nova população.

Adicionalmente ao método de seleção, temos o Elitismo. O elitismo faz o AG escolher os indivíduos com maior valor de aptidão da população levando estes indivíduos diretamente nas próximas gerações. Essa técnica substitui toda à por novos indivíduos exceto aquele indivíduo que apresentou maior aptidão numa determinada geração. Isso faz com que haja um aumento na velocidade de dominação da população por aqueles indivíduos detentores de alto valor de aptidão podendo também melhorar a convergência dos AGs. O elitismo é uma proposta original de DeJong (1975), que em seus estudos verificou que a adoção de alguma espécie de elitismo causa um aumento da eficiência para funções unimodais, enquanto provocava uma convergência prematura em problemas multimodais (ZITZLER, 1998).

Cruzamento (Recombinação): Geralmente esse operador utilizado após a operação de Seleção. Ele é aplicado em um par de cromossomos retirados de uma população intermediária gerando assim dois novos cromossomos filhos.

O processo se dá quando o algoritmo faz uma mistura de genes entre pares de cadeias existentes com o objetivo de criar novos pares de cadeias com algumas das características genéticas de cada cromossomo pai. Cada um dos cromossomos pais leva um corte aleatório

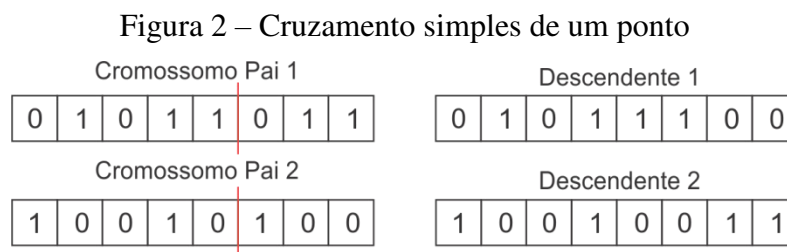
em uma região da sua cadeia de bits. Uma dessas partes que é cortada e trocada com a do outro cromossomo concluindo assim o cruzamento.

A recombinação simples é feita em duas etapas, ambas de forma aleatória: a primeira etapa é a escolha de quais cromossomos serão escolhidos para participar da combinação dois a dois.

Baseado na probabilidade de cruzamento (p_c) definido pelo usuário, um número randômico gerado entre zero e um determinará se o cruzamento ocorrerá ou não. Em termos práticos a probabilidade denominada taxa de cruzamento está entre 60% e 90%. Para o caso de não ocorrer o cruzamento, seus filhos serão iguais aos pais o que ajuda na preservação de algumas soluções, porém torna a velocidade de resposta menor.

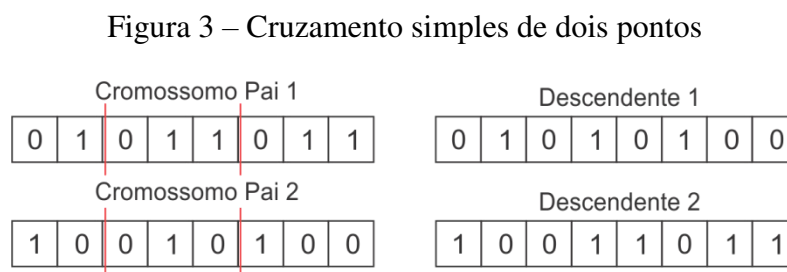
Basicamente o cruzamento de um ponto, cruzamento de dois pontos e cruzamento uniforme são as formas mais comuns de cruzamento num AG.

Na figura 2, observamos a estrutura de simples corte aleatório de dois cromossomos dando origem a dois descendentes distintos.



Fonte: adaptado Pedrosa Filho (2006)

No segundo tipo de cruzamento, dois pontos são escolhidos também aleatoriamente para gerar outros dois descendentes como observado na Figura 3.

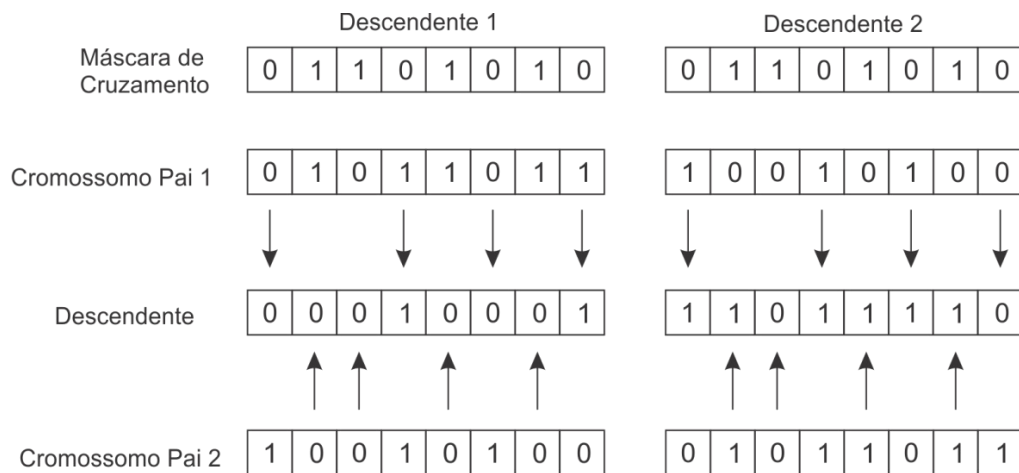


Fonte: adaptado Pedrosa Filho (2006)

No cruzamento uniforme é utilizado um “gabarito” chamado de máscara de cruzamento que é gerada aleatoriamente. Cada gene do descendente é uma cópia do gene

correspondente de um dos pais, escolhido de acordo com a máscara de cruzamento. Onde houver um na máscara de cruzamento, o gene correspondente será copiado do primeiro pai e, onde houver zero será copiado do segundo. O processo é repetido com os pais trocados para produzir o segundo descendente conforme observado na Figura 4.

Figura 4 – Cruzamento uniforme



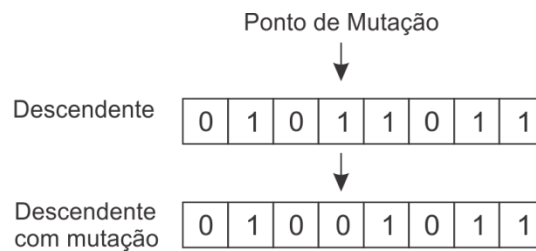
Fonte: adaptado Pedrosa Filho (2006)

Mutação: A mutação consiste na inversão de valores em cada bit dos dois descendentes e é aplicada depois de finalizada a operação de cruzamento. Esse operador tem a capacidade de melhorar a diversidade dos cromossomos na população, mas por outro lado perde-se a informação contida no cromossomo, por esse motivo usa-se uma taxa de mutação pequena (entre 0,1% e 5%) o que é suficiente para garantir a diversidade.

O operador de mutação exerce um papel importante dentro dos AGs, possibilitando restaurar a diversidade genética da população, caso a mesma a tenha perdido durante o processo evolutivo desempenhado pelo algoritmo (GOLDBERG, 1989) *apud* (Sousa, 2004).

Em síntese, o algoritmo faz trocas aleatórias ou mutações de um ou mais membros da população corrente, produzindo uma nova solução candidata pela introdução de novas características (Figura 5). Todos os bits dos novos cromossomos gerados no cruzamento estão sujeitos a uma probabilidade pré-definida de mutação (p_m).

Figura 5 – Processo de mutação simples



Fonte: adaptado Pedrosa Filho (2006)

Dentro do ciclo do AG, os operadores de Seleção, Cruzamento e Mutação, são repetidos iterativamente para criar novas populações mais adaptadas até que alguma condição de parada pré-definida seja alcançada. O efeito decorrente da escolha inadequada desses parâmetros afeta negativamente o desempenho do AG que pode caminhar para uma convergência prematura, ocorrer uma estagnação de busca, ter o tempo computacional elas tecido ou até a não convergência para uma solução viável (PEDROSA FILHO, 2006).

Há também uma desvantagem na utilização desse método que é chamada evolução em avalanche. Isso ocorre quando um ou mais indivíduos assumem um valor de aptidão muito superior aos demais, tendo assim maiores chances de sobreviver e reproduzir a ponto de poderem até mesmo tomar conta da população com sua descendência. Esse fato tende a ocorrer mais frequentemente no início do processo, quando um determinado indivíduo pode ser privilegiado em relação ao resto da população, ou seja, esses indivíduos proporcionarão uma diminuição da diversidade se projetando ainda mais nas gerações seguintes até que dominem a população por completo. Esse fenômeno acarreta em uma convergência prematura do AG (ANDRADE, 2005).

Utilizando algoritmos genéticos é possível aperfeiçoar de regras operacionais de um sistema de adução ou distribuição de água, de forma a contemplando todos seus equipamentos como motores reservatórios e válvulas de controle de forma a definir o melhor arranjo para um cenário desejado. Na construção das regras que irão compor o algoritmo genético e suas funções objetivas, adotam-se parâmetros que possam determinar seu desempenho. Righetto (2002) sugere a adoção de parâmetros de desempenho ótimo, relacionadas com o consumo mínimo de energia elétrica, máxima confiabilidade, máximo atendimento da demanda e a minimização das perdas do sistema através da adoção de pressões adequadas.

2.6. DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO

Um trabalho de efficientização de um sistema de abastecimento tem como objetivo reduzir seus custos de operação e manutenção, de forma a garantir o abastecimento contínuo, seguro e eficiente. Esses objetivos podem ser alcançados a partir de intervenções operacionais, com mudanças nas rotinas de funcionamento de motores e melhor gerenciamento de reservatórios ou até pela substituição de equipamentos por outros mais adequados e eficientes.

Devemos considerar que antes de intervir em procedimentos operacionais, estruturais ou de gestão de um sistema de abastecimento, é preciso conhecê-lo detalhadamente, suas características particulares, suas restrições hidráulica, limitações, potencialidades e objetivos ou finalidade principal. Um conhecimento profundo e amplo sobre um sistema de abastecimento pode ser adquirido a partir da realização de um estudo global e integrado denominado Diagnóstico Hidroenergético.

Segundo Gomes (2009a), o diagnóstico hidroenergético de um sistema corresponde na determinação das possibilidades de ganhos em eficiência hidroenergética, sendo seu produto final uma lista de intervenções e as respectivas estimativas de redução de consumo de energia elétrica e redução da demanda de potência no horário de maior custo tarifário.

No setor de saneamento, é possível utilizar alguns indicadores de desempenho para avaliar a eficiência dos sistemas bombeamento quanto ao consumo de energia elétrica e sua capacidade de aduzir água. Os dois principais indicadores são o CEE “consumo específico de energia elétrica” e o CEN “consumo específico de energia elétrica normatizada”.

De forma prática temos que o CEE é a relação entre o consumo médio de energia elétrica para aduzir 1 metro cúbico de líquido, podendo ser descrito pela Equação 1.

$$CEE = \frac{EE_{cons.}}{V_{bomb.}} \quad (2)$$

onde:

CEE = Consumo específico de energia, em kWh/m³;

EE_{Cons.} = Energia elétrica consumida, em kWh;

V_{bomb.} = Volume bombeado, em m³.

Apesar de ser um bom indicador de eficiência, o consumo específico de energia não é capaz de permitir uma análise comparativa com outros sistemas. Essa limitação se dá pela

existência de sistemas com diferentes características físicas e topográficas, ou seja, sistemas que recalcam água a diferentes alturas manométricas ou que apresentam tipologias hidráulicas distintas podem espontaneamente apresentar diferentes consumos de energia ainda que os rendimentos dos motores e bombas sejam iguais. Assim, esse indicador somente pode servir de parâmetro de avaliação de desempenho de um sistema com ele próprio. Nesse caso pode ser utilizado para analisar a eficácia de intervenções realizadas como mudanças operacionais e de infraestrutura, calculando seu valor antes e após ações de efficientização.

A fim de expandir esse tipo de análise de desempenho, a IWA – *International Water Association*, sugeriu a equalização ou compatibilização das alturas manométricas de instalações distintas para uma grandeza comum permitindo assim a comparação entre ambas (ALEGRE *et al*, 2004). Esse novo indicador denominado CEN passou a corresponder à quantidade de energia necessária para aduzir 1 metro cúbico de líquido a 100 metros de altura manométrica em um sistema de bombeamento pressurizado. Esse indicador pode ser expresso pela Equação 2.

$$CEE = \frac{EE_{cons.}}{V_{bomb.} \times \left(\frac{H_m}{100}\right)} \quad (3)$$

De forma geral, as avaliações de desempenho a partir de indicadores é apenas um elo no trabalho de diagnóstico hidroenergético que por sua vez deve preceder quaisquer ações de decisão ou intervenção operacional no sistema de abastecimento no sentido buscar sua efficientização.

Segundo Gomes (2012), As ações de eficiência energética a serem implantadas em um determinado sistema de saneamento são estabelecidas em função de um diagnóstico hidroenergético prévio.

O diagnóstico hidroenergético é uma técnica ou ferramenta de subsídio à gestão ou gerenciamento de um sistema de abastecimento de água. É a partir da aplicação dessa técnica que podemos conhecer o sistema de forma integrada e identificar todos os componentes que influenciam na sua dinâmica de operação. Os resultados do diagnóstico fornecem informações de apoio às tomadas de decisão com vistas à efficientização e segurança do sistema.

O objetivo de um Diagnóstico Hidroenergético em um sistema de abastecimento de água é a obtenção de informações relevantes para uma intervenção adequada seja ela apenas na forma de mudanças de rotinas operacionais, substituição de equipamentos ou até mesmo intervir na infraestrutura geral com novas obras de engenharia.

A realização de um trabalho de diagnóstico hidroenergético é composta por uma série de etapas que preferencialmente devem seguir uma ordem sistemática iniciando com a obtenção de documentação cadastral que inclui levantamento de diagramas técnicos diversos, cadastro comercial de operação e manutenção, visita prévia às instalações e validação de dados cadastrais, planejamento e realização de campanhas de medição de parâmetros hidráulicos e elétricos, análise de dados levantados, avaliação de eficiência, estabelecimento de uma linha de base e indicação de alternativas para sua efficientização.

O diagnóstico é, em sua magnitude, alicerçado pelos dados já existentes nos cadastros comercial e operacional e/ou medidos em campo a partir de instrumentos específicos. Logo, é válido salientar que o resultado final será tão preciso quanto mais exatos e completos forem estes dados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Companhias de saneamento, não apenas do Brasil, mas de vários países, convivem diariamente com as problemáticas relacionadas às perdas de água e energia elétrica. Essas perdas tendem a ocorrer ao longo de todo processo produtivo, seja captação da água no manancial, na adução da água bruta e tratada, na reservação, nas redes de distribuição e até em função de procedimentos operacionais ineficientes.

Neste contexto, e considerando a da importância de reduzir perdas de água e preservar a matriz energética do país, a ELETROBRAS vem incentivando projetos de desenvolvimento de tecnologias e material didático através de parcerias e convênios com universidades em todo o país, cujos produtos possam dar suporte às indústrias de beneficiamento de água no sentido de que estas possam investir na otimização e reestruturação de suas unidades de bombeamento. Este presente trabalho se desenvolveu a partir de uma parceria cooperativa entre a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, o Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento – LENHS-PB, a RedeLENHS – Rede de Laboratórios de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica para o Setor de Saneamento PROCEL SANEAR e ELETROBRAS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

Esta parceria teve como objetivo consolidar uma metodologia de para realização de diagnósticos hidroenergéticos a partir de sua aplicação em um sistema real. Assim, para realização desse trabalho foi definido o objeto de estudo um sistema de abastecimento real para aplicação dessa ferramenta.

A partir de reuniões técnicas preliminares junto à gerência operacional da CAGEPA, e representantes das partes envolvidas na parceria, foi possível eleger um sistema que apresentava um considerável potencial de efficientização, ou seja, cujas características operacionais apresentavam graves problemas de gerenciamento, dessa forma o Sistema Mário Andreazza escolhido para realização do presente trabalho.

A proposta metodológica do trabalho foi subsidiar a construção de uma ferramenta técnica aqui denominada de “diagnóstico hidroenergético” para embasar as decisões de reabilitação estrutural e efficientização da operação do Sistema de Abastecimento de água Mário Andreazza com vistas à redução de perdas de água e energia elétrica assim como garantir maior segurança da continuidade do abastecimento à população local.

Considerando que as soluções de otimização operacional não foram outrora totalmente abordadas na proposta original desta parceria, foi proposto nesse trabalho, além do

diagnóstico hidroenergético, a aplicação de técnicas baseadas em de algoritmos genéticos para eficiência de suas rotinas operacionais.

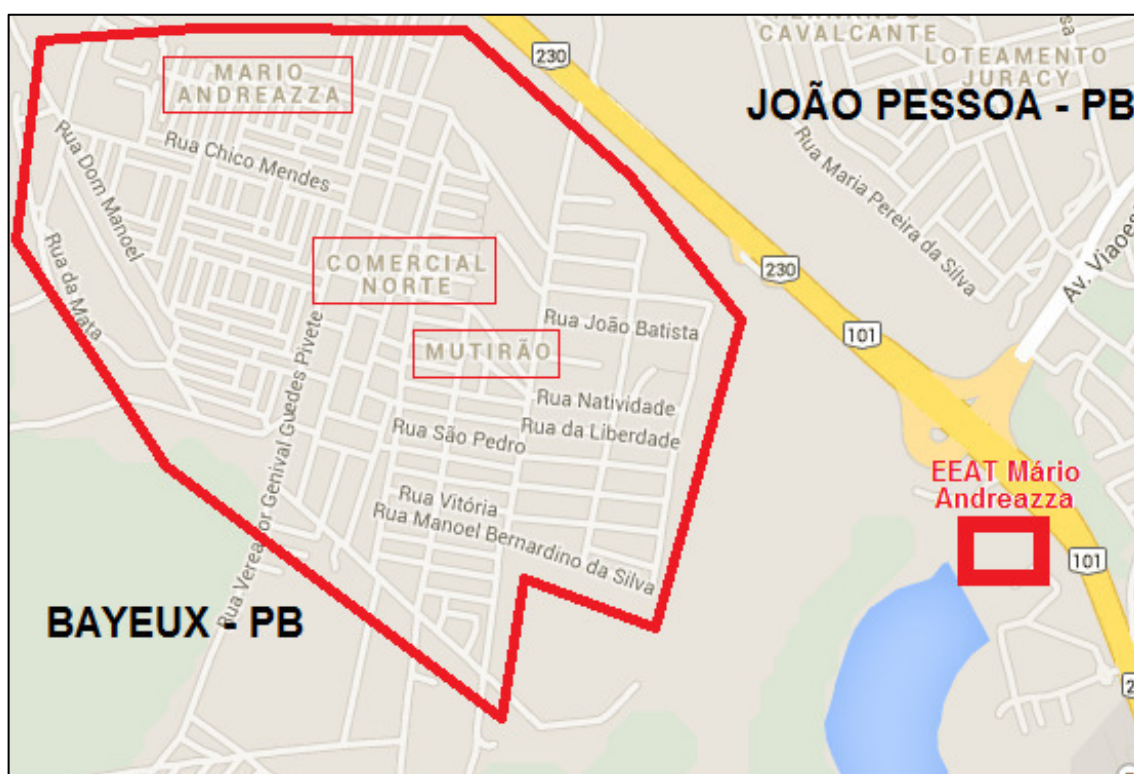
3.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO OBJETO

O objeto desse estudo foi a Estação Elevatória de Água Tratada de Mario Andreazza, sistema criteriosamente escolhido pelo LENHS/UFPB e RedeLENHS em consenso com a Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, concessionária que opera o sistema.

A Estação Elevatória de Mario Andreazza faz parte do sistema integrado de Marés, situado na BR 101, km 86, Jardim Veneza, João Pessoa - PB.

O sistema atende uma população total de 10.400 habitantes (IBGE, 2012) que correspondem às populações dos bairros Mário Andreazza, Comercial e Mutirão pertencentes ao município de Bayeux – PB conforme Figura 6.

Figura 6 – Localização da EEAT Mario Andreazza e bairros atendidos



Fonte: adaptado Google Maps.

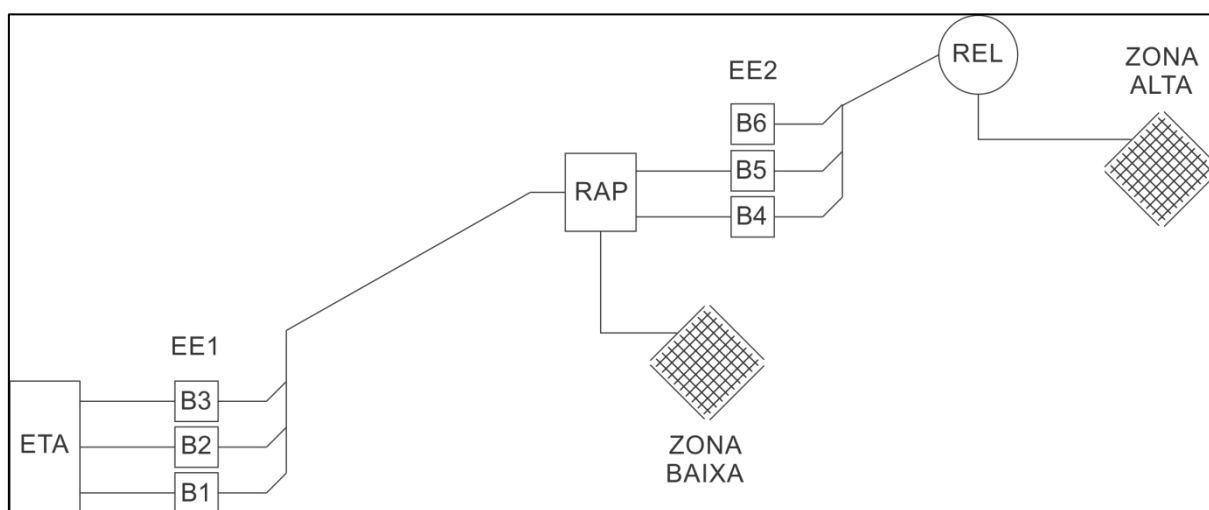
A priori, o trabalho debruçou-se sobre o estudo global do sistema a partir de material cartográfico e cadastral fornecido pela – CAGEPA.

O sistema tem seu reservatório de captação na Estação de Tratamento de Água de Marés – ETA Marés. Uma Estação Elevatória, denominada EE1 munida de três conjuntos

motobomba (B1, B2 e B3) aduz a água, através de uma adutora, até seu ponto de descarga em um reservatório do tipo apoiado – RAP denominado R33-A. A partir desse ponto, três conjuntos motor-bomba (B4, B5 e B6) aduzem a água até um reservatório elevado – REL, denominado R33-B.

A Figura 8 ilustra de forma esquemática a área de abastecimento atendida pelo sistema. Observam-se dois setores de abastecimento denominados de zona baixa e zona alta. O primeiro é atendido diretamente pelo RAP e o segundo por sua vez atendido pelo REL.

Figura 7 - Tipologia e representação esquemática do sistema Mario Andreazza



Fonte: própria

De forma geral, o sistema possui duas zonas de abastecimento distintas tanto em volume diário demandado como também em relação a sua topografia. Essas áreas de abastecimento são denominadas de Zona Baixa e Zona Alta, conforme suas características de menor e maior cota topográficas respectivamente.

3.2. DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO

O diagnóstico hidroenergético aplicado ao Sistema de Abastecimento de Água Mario Andreazza foi realizado em etapas sequenciais, sendo elas: Obtenção de dados cadastrais; visita prévia ao sistema; medições de parâmetros hidroenergéticos; aquisição, tratamento e análise de dados.

3.2.1. Obtenção de dados cadastrais

Antecipadamente à avaliação da eficiência do sistema de bombeamento, devem ser obtidas as documentações cadastrais. Estas informações serão necessárias para planejamento de medições e nas avaliações posteriores de eficiência, portanto caso não existam devem ser determinadas. São elas:

- Levantamento altimétrico das instalações;
- Catálogos, manuais e informações técnicas de bombas, motores, válvulas e outros equipamentos existentes;
- Volumes bombeados, produzidos ou disponibilizados no sistema estudado;
- Informações sobre os medidores de grandezas hidráulicas e elétricas existentes e dados de calibração ou aferição;
- Cadastro elétrico da instalação e Quadros elétrico (planta elétrica, diagrama unifilar e diagrama simplificado).

Adicionalmente são de grande importância as informações listadas abaixo visando facilitar o planejamento para o diagnóstico:

- Cadastro hidráulico do bombeamento e reservação (diagrama hidráulico, diagrama simplificado);
- Cópia das contas de energia das unidades consumidoras e da memória de massa dos medidores da concessionária de energia por um período de pelo menos um ano;
- Planta de localização indicando os pontos de medição de parâmetros elétricos, vazão, pressão e nível d'água, existentes ou potenciais;
- Registros de operação como horários de liga e desliga de conjuntos motobomba – CMB, como se dá a operação individual e paralela; existência de conjuntos reserva e revezamento de conjuntos;
- Histórico de manutenção nos equipamentos (corretiva, preventiva e preditiva).

3.2.2. Visita prévia ao sistema

A realização de visitas prévias ao local de estudo é uma etapa importante para realização do diagnóstico hidroenergético, pois apenas com uma inspeção *in loco* é possível validar uma série de informações levantadas preliminarmente em virtude de dados cadastrais do sistema.

A validação dos dados cadastrais é imprescindível visto que não é incomum encontrar cadastros desatualizados. Isso ocorre principalmente que sofreram intervenções técnicas como substituição de bombas, motores, válvulas ou tubulações ao longo dos anos de seu funcionamento.

Na visita prévia ao sistema Mario Andreazza foram realizados procedimentos de atualização e validação dos dados cadastrais existentes assim como também a complementação de dados não contidos nos registros da operadora.

Também nessa etapa foram levantadas informações importantes sobre a infraestrutura com vistas à instalação dos equipamentos de medição, como pontos potenciais de medição, alimentação elétrica para equipamentos, limpeza, proteção e segurança. Essas informações são importantes para subsidiar o planejamento das medições e até mesmo a seleção dos tipos de equipamentos de medição de parâmetros hidráulicos e elétricos que serão utilizados.

3.2.3. Medições de parâmetros hidroenergéticos

3.2.3.1. Planejamento de atividades de campo

A etapa de planejamento se deu após a obtenção dos dados cadastrais junto à companhia que opera o sistema Mario Andreazza e pela validação e complementação dos dados na etapa de visita prévia.

O planejamento das medições inicia-se pela definição dos objetivos a serem alcançados nessa etapa, ou seja, a informações que se pretende obter a partir de medições que possam subsidiar a avaliação e diagnóstico do sistema.

Para esse estudo foram definidos como objetivos:

- Levantamento da eficiência dos conjuntos motobomba;
- Levantamento da curva característica do sistema;
- Levantamento do coeficiente C (Hazen Williams) da adutora;
- Levantamento da demanda diária de água do sistema e curva de demanda;
- Levantamento do consumo individual de energia elétrica dos motores;
- Mapeamento dos horários de acionamentos de motores;
- Mapeamento dos níveis dinâmicos dos reservatórios;
- Monitoramento dos parâmetros vazão e consumo energético de forma simultânea por sete dias ininterruptos;

Diante dos objetivos estabelecidos, a etapa de planejamento prosseguiu-se para a definição dos procedimentos a serem realizados na campanha de medição.

3.2.3.2. Definição de procedimentos para campanha de medição

A definição dos procedimentos para início das campanhas de medição é fundamentalmente baseada nos objetivos definidos no planejamento, ou seja, esses procedimentos devem ocorrer de tal maneira que ao final da campanha de medição e após a aquisição dos dados seja possível satisfazer esses objetivos preliminares.

Baseado nos objetivos preliminares definidos para o Sistema Mario Andreazza, os procedimentos técnicos adotados para início das campanhas de medição, foram:

- Definição dos pontos de instalação dos instrumentos de medição;
- Definição das variáveis e grandezas a serem medidas e monitoradas;
- Definição da quantidade de instrumentos necessários para medição;
- Definição dos tipos e características dos instrumentos de medição;
- Definição do tempo total de duração da campanha de medição;
- Definição dos tempos e intervalos de amostragem;
- Definição da equipe de campo;
- Definição dos EPI's necessários para realização dos trabalhos.

3.2.3.3. Medição dos parâmetros hidráulicos

As variáveis hidráulicas a serem medidas estão associadas às bombas, válvulas e tubulações que constituem o sistema de bombeamento e demandam energia mecânica que por sua vez é fornecida por motores elétricos. Nesse trabalho, foram priorizadas as medições das seguintes variáveis:

- **Vazão na saída da estação de bombeamento**

Para medição desse parâmetro foi utilizado medidor de vazão ultrassônico do tipo *tempo de trânsito*, e objetivou o registro dos valores e a totalização do volume bombeado.

- **Número de horas de funcionamento de cada conjunto motobomba;**
- **Níveis dinâmicos dos reservatórios**

O monitoramento dos níveis dinâmicos dos reservatórios permite uma análise da eficiência da utilização do seu volume útil. Essa análise é possível associando a medição das vazões distribuídas, ou seja, que saem dos reservatórios.

- **Pressão na sucção e recalque das bombas**

Com esse procedimento é possível determinar a altura manométrica das bombas e suas curvas características. Essas medidas foram realizadas pela instalação de manômetros e vacuômetros em orifícios originalmente existentes próximos aos flanges de entrada e saída das bombas. Outro objetivo desse procedimento é a determinação das perdas de carga no barrilete de recalque obtido pela comparação com a medição de pressão após o barrilete.

- **Pressão na linha de recalque imediatamente após o barrilete**

Esse procedimento de medição foi realizado pela instalação de uma maleta registradora de pressão denominada *Maleta de Lamon*. O modelo utilizado possui capacidade de armazenamento dos dados em Datalogger.

- **Vazões nas saídas dos reservatórios**

A partir dessa medição é possível registrar o comportamento da variação de demanda de água assim como a totalização dos volumes distribuídos. A medição dessas vazões associada ao monitoramento dos níveis dinâmicos dos reservatórios permite uma análise da eficiência da utilização do seu volume útil projetado.

3.2.3.4. Medição dos parâmetros elétricos

As medições dos parâmetros elétricos correspondem às grandezas associadas aos motores elétricos e seus acessórios. São os motores elétricos que fornecem a energia mecânica demandada pelas bombas para pressurizar o sistema. É preciso então medir variáveis de potência elétrica demandada da concessionária.

As grandezas a serem medidas para efeito de avaliação de desempenho operacional são:

- Consumo total dos conjuntos motobomba;
- Potência ativa;
- Demanda elétrica;
- Fator de potência.

Essas variáveis foram medidas com a utilização de equipamentos analisadores de energia. Nesse trabalho foi utilizado o analisador de energia Fluke® 433.

Nas medições elétricas, foi verificado o nível da tensão de fornecimento, a fim de garantir que durante o procedimento de medição este parâmetro esteja dentro dos limites normalizados ($\pm 7,5\%$). Foram verificadas ocorrências de desequilíbrios entre as fases das tensões, onde as mesmas não ultrapassaram 2,5%. Também foi verificada a qualidade e

confiabilidade dos sistemas de proteção elétrica das instalações e as condições do aterramento instalado.

A Figura 8-a ilustra o gabinete de leituras elétricas e de acionamento de motores. Os instrumentos de medição foram devidamente instalados no interior do gabinete conforme ilustrado na Figura 8-b.

Para garantir a qualidade, exatidão e validade dos dados na campanha de medições hidráulicas e elétricas, devem-se considerar algumas condições desejáveis. É preciso se assegurar de que as medições sejam realizadas para as configurações de operação rotineiramente praticadas.

Figura 8 – Gabinete de alimentação e leitura elétrica dos motores, local de instalação de equipamentos de monitoramento.



a) Gabinete de leituras elétricas e acionamento de motores



b) Alimentação elétrica dos motores (interior do gabinete)

Fonte: própria

Para obtenção de dados consistentes foi necessário que os medidores fossem instalados de acordo com as recomendações dos fabricantes e de forma adequadas aos propósitos e objetivos do diagnóstico.

Segundo Gomes, (2012) medidores descalibrados e/ou mal instalados comprometem as leituras realizadas, provocando distorções nos resultados, o que pode mascarar o diagnóstico. É necessário que os medidores a serem empregados sejam calibrados ou verificados em laboratório.

3.2.4. Aquisição, tratamento e análise de dados

A etapa de aquisição de dados é uma das atividades que podem ser se apresentar bastante trabalhosas. Essa operação corresponde à extração dos dados que durante as medições foram gravados nas memórias dos equipamentos de medição ou em dataloggers, para um computador a fim de permitir a manipulação ou tratamento dessas informações com a construção de planilhas, gráficos, Figuras etc.

O procedimento de aquisição de dados envolve a instalação e operação de *softwares* específicos, geralmente fornecidos pelos fabricantes, compatíveis com os equipamentos de medição.

Os dados de medição coletados dos equipamentos e por sua vez salvos em computador são chamados de *dados brutos*, por ainda não terem sofrido nenhum tipo de tratamento ou manipulação.

O tratamento dos dados após aquisição é fundamental para que o analista seja capaz de interpreta-los. Essa etapa corresponde à elaboração de gráficos e planilhas em *softwares* a partir dos dados coletados.

3.3. MODELO DE OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL PROPOSTO

A literatura cita vários modelos de otimização dedicados à operação de sistemas de abastecimento de água expresso na forma linear (Shamir, 1974; Alperovits e Shamir, 1977; Quindry et al.; 1981; Morgan e Goulter, 1985 Carrijo, 1989).

A utilização de Algoritmos Genéticos (AGs) tem ótima aceitação na área da hidráulica de sistemas de abastecimento de água e merece destaque, pois oferece uma considerável flexibilidade quanto ao uso de variáveis e é de fácil manipulação, além de que vários *softwares* disponibilizam pacotes de código aberto facilitando sua implementação em simuladores hidráulicos diversos.

Os problemas de otimização apresentam uma estrutura clássica, em que se procura maximizar ou minimizar uma função objetiva, respeitando um conjunto de uma ou mais equações ou inequações conhecida como restrições.

O modelo de otimização apresentado nesse trabalho é baseado nas características físicas e operacionais do sistema real e se dá pela construção de uma função objetivo que pela sua minimização matemática, acatando as restrições propostas, será capaz de apontar os melhores senários de otimização operacional do Sistema Mario Andreazza,

ou seja, a melhor solução que seja capaz de minimizar os custos de operação relativos ao consumo de energia elétrica.

As funções objetivo e as restrições envolvem variáveis de decisão, de estado e os parâmetros de processamento. Elas representam uma forma de medir o desempenho do modelo especificado através dos valores das variáveis de decisão, as quais definem como sistema será operado. As restrições para problema de sistemas de abastecimento de água podem ser divididas em três grupos (Ormsbee e Lansey, 1994): Limitações físicas dos sistemas (capacidade dos reservatórios, capacidade dos mananciais, configuração das bombas, etc.); Leis físicas (conservação de massa nos nós da rede, conservação de energia nos anéis, etc.); e Requisitos externos (atendimento da demanda, manutenção dos níveis de pressão aceitáveis, etc.).

O modelo proposto foi construído na interface do *software* MatLab, que disponibiliza uma ampla e completa biblioteca direcionada a utilização de AGs em modelagem matemática.

A utilização do MatLab na área de modelagem matemática de sistemas diversos, vem se tornando uma prática usual na área acadêmica diante sua ampla diversidade de ferramentas e tool kits disponíveis em código aberto além de sua compatibilidade com vários outros *softwares* de simulação, fazendo desta ferramenta computacional uma das mais robustas e aceitas nas grandes áreas da engenharia.

O modelo matemático proposto nesse trabalho possui apenas uma função objetivo que será baseada nos custos de bombeamento e pelas restrições próprias do sistema real. O objetivo do modelo é a otimização operacional e a redução dos custos de bombeamento pela redução global das horas de funcionamento nos *horários de ponta*, ou seja, nos horários de maior tarifa aplicada pela concessionária de energia.

A pesar de uma solução de menor custo aparentar ser a melhor opção operacional devemos considerar que a melhor opção não deve estar baseada apenas na redução dos custos. É preciso que a solução de otimização resultante esteja dentro de um universo aplicável e baseada nas condições de implementação no mundo real e não meramente teórica. Walsky (1993) comenta que a melhor solução pode não ser a solução de custo mínimo, mas alguma solução de baixo custo com viabilidade operacional aceitável.

Nesse trabalho se pretende ajustar um escalonamento de bombas e níveis de reservatórios de forma que num determinado intervalo de tempo, algumas bombas deverão estar funcionando, mas outras não. Assim como o nível de água nos

reservatórios devem ter um comportamento tal que se apresente de forma dinâmica e variável.

Visto os componentes físicos considerados, a função objetivo definirá a melhor regra operacional considerando como variáveis de decisão:

- a) Estado operacional das bombas hidráulicas;
- b) Nível dinâmico dos reservatórios.

A programação operacional ótima investigada significa encontrar a melhor combinação factível, desses dispositivos, a cada intervalo de tempo, ao longo de um horizonte temporal, de forma a resultar num custo energético mínimo.

Apesar da eficácia da convergência dos AGs para encontrar a solução ótima ou otimizada dependa da complexidade da função objetivo e da mesma ser representativa do problema real, é imprescindível que a estrutura matemática que descreve essa função possa ser executada rapidamente para não acarretar em lentidão no processamento computacional do algoritmo como um todo, podendo tornar inviável sua implementação num tempo limitado.

3.3.1. Definição da função objetivo

O custo de bombeamento de uma elevatória está associado ao consumo de energia dos motores instalados e seu acionamento segundo as tarifas horárias diferenciadas. Isso implica que apesar do consumo de energia ser o mesmo em diferentes horários o custo é variável em função das tarifas impostas pelas concessionárias para determinados momentos do dia.

O consumo de energia pelos motores é equivalente a sua potência motriz, ou seja, a potência requerida pelo motor para que este atue sobre uma bomba hidráulica para aduzir uma vazão desejada de líquido de um ponto a outro por meio de um conduto, vencendo forças mecânicas de atrito e topográficas. A potência motriz é ligeiramente menor que a potência aplicada ao eixo da bomba e esta última menor que a potência útil fornecida ao líquido, visto que parte da energia é dissipada no próprio motor elétrico na forma de calor e no interior da própria bomba.

De forma prática, a potência requerida por uma estação elevatória de água em kW, pode ser calculada pela equação 4.

$$P = 9,81 Q H_m / \eta \quad (4)$$

Onde, Q = vazão (m^3/s); H_m = altura manométrica total do bombeamento (mca) e η = rendimento global do conjunto dado pela equação (5)

$$\eta = \eta_m \cdot \eta_b \quad (5)$$

Onde, N_m = rendimento mecânico do motor e N_b = rendimento mecânico da bomba. Esses valores de rendimento são normalmente fornecidos pelos fabricantes em termos percentuais.

O custo de consumo da energia de bombeamento, para um determinado intervalo de tempo, pode ser determinado pela equação 6 dada em função da potência requerida pela elevatória, do número de horas contido no intervalo de tempo considerado e do custo unitário da energia.

$$C_b = P \cdot \Delta t \cdot T_u \quad (6)$$

Onde, Δt é o intervalo de tempo de bombeamento (h) e T_u é o custo unitário da tarifa de energia. (R\$/kWh).

Obtemos então o custo de consumo da energia de bombeamento substituindo a equação 2 na equação 4:

$$C_b = (9,81 Q H_m / \eta) \cdot \Delta t \cdot T_u \quad (7)$$

É importante ressaltar que no sistema estudado, a entrada de água nos reservatórios é do tipo descarga livre o que implica que não haverá variações da altura manométrica (H_m) em função dos níveis dos reservatórios.

Considerando que uma elevatória possui três conjuntos motobomba e opera no regime 2+1, ou seja, duas operando e uma reserva, sendo (N_b) o número de bombas em operação, então o custo energético global de bombeamento (C_b) em n períodos de tempo, pode ser representado por:

$$C_b = \sum_{i=1}^{N_b} \sum_{t=1}^n [\text{custos consumo } (i)] \quad (8)$$

Temos então a **função objetivo**, como sendo a soma dos custos globais de consumo da energia elétrica e representada como:

$$FO = \sum_{i=1}^{N_b} \sum_{t=1}^n \left\{ \frac{[9,81 \times Q(i,t) \times H_m(i,t) \times T_u(i,t) \times \Delta t]}{\eta(i,t)} \right\} \quad (9)$$

Onde, FO = função objetivo principal, Cb = custo energético total (R\$); Q(i,t) = vazão bombeada (m³/h); Hm (i,t) = altura manométrica total (m); Tu(i,t) = tarifa unitária (R\$/kWh); η(i,t) = rendimento do conjunto elevatório e Δt = intervalo de tempo (h). O termo i refere-se a uma bomba particular e o termo t corresponde à hora específica do dia.

Neste trabalho, as vazões horárias nas adutoras são caracterizadas pelo funcionamento em paralelo de conjuntos motor-bomba. O cálculo da vazão é estabelecido pelo acréscimo de vazão no acionamento de mais de um conjunto na mesma adutora.

Na caracterização física do sistema faz-se necessário verificar os volumes dos reservatórios atualizados a cada hora, os quais obedecem ao princípio da conservação de massa:

$$V(k, t) = V(k, t - 1) + \Sigma[Qs(k, t) - D(k, t)]\Delta t \quad (10)$$

Onde, V(k,t) = volume em m³ do reservatório k no instante t; V(k,0) = volume inicial em m³ do reservatório k; D(k,t) = volume demandado em (m³/h) do reservatório k no instante t e ΣQs(k,t) = soma dos volumes correspondentes as vazões que chegam ao reservatório k no instante t, dado por:

$$\Sigma Qs(k,t) = \sum_{i=1}^{Nb} \sum_{t=1}^n [Q(i, t)] \quad (11)$$

Assim, as restrições do problema podem ser definidas:

- i. O volume armazenado no reservatório k num instante de tempo t deve ser maior que a demanda neste mesmo reservatório;

$$V(k,t) > D(k,t) \quad (12)$$

- ii. O volume armazenado no reservatório k num instante de tempo t=17 deve ser superior a 85% do Vmáx (k) e menor que Vmáx (k).

$$0,85 * Vmáx (k) \leq V(k,17) \leq Vmáx (k) \quad (13)$$

- iii. O volume armazenado no reservatório k num instante de tempo t deve superior ao seu volume mínimo e inferior ao seu volume máximo.

$$V_{\min}(k) \leq V(k,t) \leq V_{\max}(k) \quad (14)$$

3.3.2. Definição da função aptidão

Segundo Honorato e Silva, (2015) um AG baseia-se em conjuntos de soluções chamadas de populações, formadas por indivíduos, os quais são soluções codificadas. Esses indivíduos, os cromossomos, são avaliados por uma função aptidão, de forma que os melhores têm mais chance de permanecer na população ou de gerar novos indivíduos a partir de suas próprias características.

Na prática de um sistema real, as soluções apontadas pelos AG devem atender não somente aos objetivos específicos de minimização ou maximização, mas também fazê-lo de forma a atender restrições físicas e operacionais típicas do próprio sistema real. Porém, problemas de otimização que contenham funções restritivas não podem ser tratadas diretamente pelos algoritmos genéticos.

Uma forma de contornar esse problema é o emprego de um método de avaliação, onde restrições existentes no modelo real podem ser adicionadas à função objetivo, transformando um problema antes restrito em um problema irrestrito.

Para fins de aplicação neste trabalho, uma visão prática de função de aptidão ou avaliação é a soma das diferenças absolutas da resposta de uma variável obtida pela saída correta ou desejada. A imposição de um valor ou intervalo desejado para uma determinada variável física representa uma restrição ou objetivo real característico do sistema, podendo expressa por,

$$Fa = \sum |r - s| \quad (15)$$

Onde “r” representa a resposta do programa e “s” representa a saída esperada ou set point desejado para uma variável específica do sistema.

Em algumas aplicações, é interessante reforçar a diferença entre os diversos valores de uma população. Uma variação muito comum é somar o quadrado das diferenças (squared error), como a fórmula a seguir:

$$Fa = \sum |r - s|^2 \quad (16)$$

Assim, ao aplicar este método, associado às restrições declaradas, a função objetivo original pode ser convertida em,

$$\emptyset(X) = FO + Fa \quad (17)$$

Onde, $\emptyset(X)$ é a função objetivo transformada; FO é a função objetivo original e Fa representa a função de aptidão ou avaliação associada às restrições do sistema real.

Considerando um sistema com n restrições e objetivos, a função aptidão é descrita como:

$$Fa = Fa_1 + Fa_2 + Fa_3 \dots + Fa_n \quad (18)$$

A partir das equações 17 e 18, a função objetivo transformada será entendida como:

$$\emptyset(X) = FO(X) + Fa_1 + Fa_2 + Fa_3 \dots + Fa_n \quad (19)$$

A problemática de otimização operacional de um sistema de abastecimento de água busca as melhores soluções que possam garantir o abastecimento de forma contínua e segura e com o menor custo tecnicamente possível.

Quando falamos em redução de custos, devemos considerar que os custos de bombeamento é sem dúvidas a maior parcela em relação aos custos de manutenção e operação.

Visto que os valores de tarifação sobre o consumo de energia elétrica sofre variação de acordo com os horários do dia, é imprescindível que nesses intervalos sejam evitados ou reduzidos o funcionamento dos equipamentos de bombeamento.

No Brasil, os horários de maior tarifação são chamados de horários de ponta e geralmente tem duração de três horas mais comumente nos intervalos das 17h às 20h ou das 18h às 21h

Uma forma prática de evitar ao máximo o bombeamento no horário de ponta, é preciso um gerenciamento otimizado dos volumes dos reservatórios, ou seja, o volume disponível no início do horário de ponta deve ser suficiente para atender a demanda de água pelo máximo possível de horas sem que haja bombeamento, reduzindo assim o tempo de bombeamento nos horários de maior tarifação.

Assim, considerando como critério de avaliação a ser incorporado na função objetivo, o volume desejado de água a ser acumulado em um reservatório, teremos:

$$Fa_1 = |Vac_{17} - Vd_{17}| \quad (20)$$

onde, Vac = volume teórico acumulado pelo reservatório e Vd = volume desejado para o reservatório às 17h suficiente para atender a demanda no horário de ponta.

O segundo termo da função representa a diferença entre o valor de resposta do sistema e o valor desejado. Dessa forma o AG se encarregará de minimizar esta diferença visando a melhor solução para utilização do volume do reservatório evitando o horário de ponta.

No gerenciamento de um reservatório, é preciso garantir a obediência à lâmina mínima de água, evitando seu esvaziamento e consequente colapso em situações de emergência, assim foi incorporada a parcela correspondente a diferença entre o volume mínimo desejado para quaisquer horários, como sendo:

$$Fa_2 = |Vac - Vmin| \quad (21)$$

Assim como na restrição quanto ao volume mínimo a ser mantido, foi preciso estabelecer um critério de volume máximo para o reservatório, cujo objetivo foi evitar perdas de água por extravasamento dos reservatórios. Assim teremos esta parcela como sendo a diferença entre o volume acumulado Vac e o volume máximo tolerado Vmáx, assim teremos,

$$Fa_3 = |Vac - Vmáx| \quad (22)$$

Para garantir a continuidade de abastecimento do sistema, ou seja, eliminar a possibilidade de intervalos de desabastecimento, é preciso garantir que o volume de água acumulado nos reservatórios em um instante de tempo k, sejam sempre superior a demanda de água neste mesmo instante. Assim, devemos adicionar uma parcela de avaliação na forma,

$$Fa_4 = |Vac_{(k,t)} - Dem_{(k,t)}| \quad (23)$$

Na sua forma expandida a função objetivo transformada para atender a todos os critérios ou restrições do sistema, pode ser representada por,

$$\begin{aligned} \emptyset(X) = & \sum_{i=1}^{Nb} \sum_{t=1}^n \left\{ \frac{[9,81 \times Q(i,t) \times Hm(i,t) \times Tu(i,t) \times \Delta t]}{\eta(i,t)} \right\} + |Vac_{17} - Vd_{17}| \\ & + |Vac - Vmin| + |Vac - Vmáx| + |Vac - Vmáx| \end{aligned} \quad (24)$$

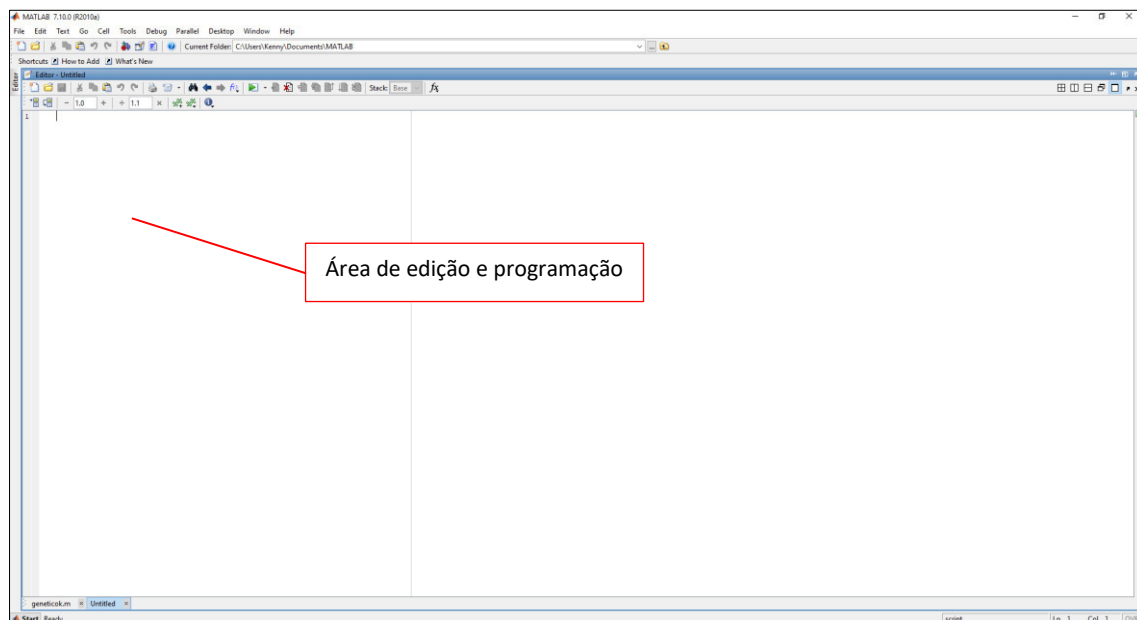
3.3.3. Resolução do Modelo em Ambiente MatLab®

O método de otimização proposto neste trabalho foi implementado através do *software* MATLAB versão 7.10.0, rodando sobre uma plataforma computacional em

Windows 10. Nesta versão, o *software* oferece entre outros, o *plug-in* “Optimization Tools” que dispõe uma série de opções de algoritmos voltados para resolução de problemas matemáticos complexos. Estes algoritmos de otimização são por sua vez pré-programados restando ao usuário apenas configurar os parâmetros relacionados ao desempenho de cálculo do algoritmo desejado.

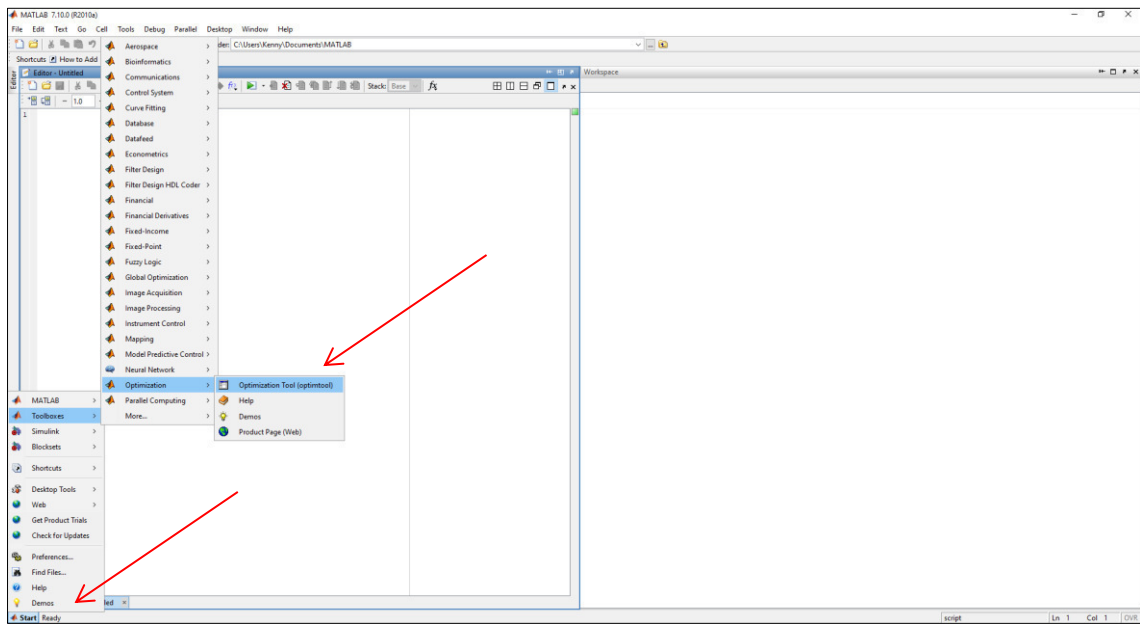
Uma vez definido o modelo matemático que representa o sistema real, é necessário declarar no *software* as funções objetivo, função de aptidão, funções de restrição hidráulica e todas as constantes e variáveis que o regem. A Figura 9 apresenta a interface do MATLAB e ambiente de trabalho, nele podemos observar a janela de edição e programação onde foi construída a arquitetura do algoritmo.

Figura 9 – Interface do *software* MatLab®



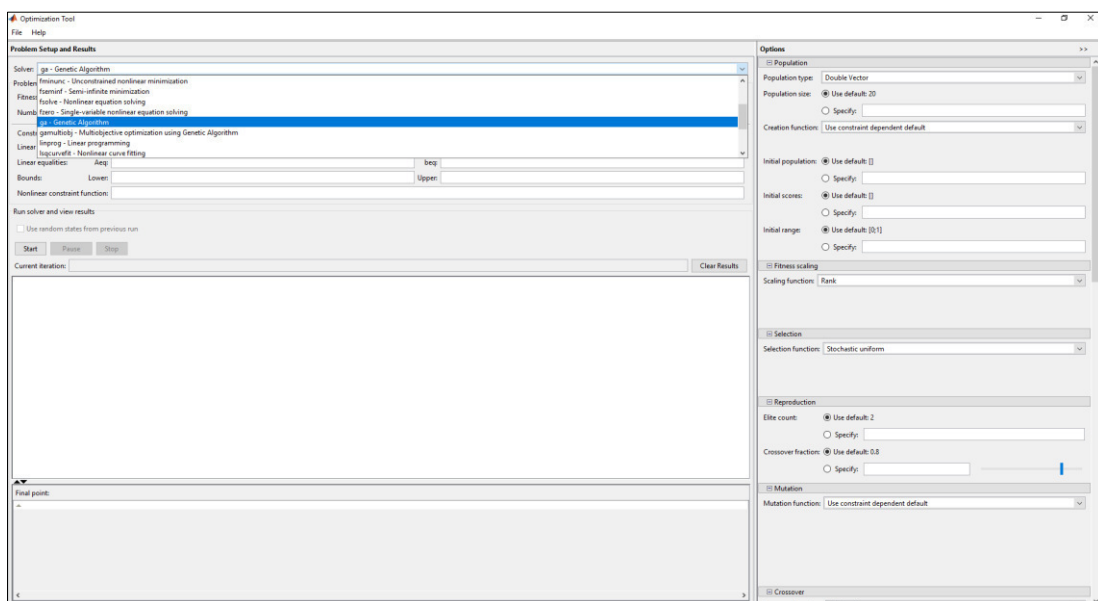
Depois de concluída a etapa de programação, implementando-se as relações de dependência entre as funções, constantes e variáveis do sistema, foi iniciada a aplicação do AG para minimização da função objetivo declarada. Como já comentado neste item, o *software* já oferece uma série de opções de algoritmos pré-definidos, entre eles os AG's, direcionados a resolução de problemas matemáticos complexos ou multi-objetivo. O acesso a estas opções se deu através da utilização do *plug-in* Optimization Tool, acessado através do botão “START” localizado na parte inferior esquerda da interface do *software*, em seguida na aba “Toolboxes” conforme Figura 10.

Figura 10 – Acesso ao *plug-in* “Optimization Tool” através da aba “start”.



Na janela do *plug-in* Optimization Tool, foi selecionado na aba “solver” a opção Ga – Genetic algorithm conforme ilustrado na Figura 11. Com a opção selecionada, é declarada a função objetivo a ser minimizada pela ação do algoritmo. O programa já dispõe de uma configuração *default*, porém algumas características operacionais de simulação como número da população inicial, número de gerações e critério de parada, foram editadas a fim de aprimorar o desempenho do algoritmo.

Figura 11 – Interface do *Plug-in* Optimization Tool



Para fins de resolução do AG apresentado neste trabalho, as configurações de simulação foram mantidas no estado *default*, com exceção do número para população inicial para grandeza de 1.000 em detrimento da ordem de 50 apresentado no estado *default*.

A saída ou solução do algoritmo também foi alterada para o estado “vetor doble”. Assim, a solução apresentada pelo AG será um vetor binário cujos caracteres podem assumir o valor de 0 ou 1.

Os caracteres representam o estado de funcionamento dos motores, onde o termo descrito por “0” indica que o CMB deve estar desligado ou simplesmente *OFF*, enquanto o termo “1” indica que o CMB deve estar ligado ou simplesmente *ON*.

Visto que o sistema modelado possui 6 conjuntos motobomba, distribuídos igualmente em duas elevatórias denominadas EE1 e EE2, são necessários 6 caracteres binários para representar seu estado de funcionamento a cada 1 hora do dia. Logo, considerando uma rotina operacional de 24 horas, podemos determinar o número de “bits” ou de caracteres binários necessários para compor a solução multiplicando o número de CMB pelo número de horas do dia. Temos:

$$N^{\circ} \text{ de bits} = 6 \times 24 = 144 \text{ bits} \quad (25)$$

Assim, podemos visualizar a solução como uma matriz vetorial 1x144, onde cada elemento será representado pelos números 0 ou 1 e irá compor a rotina operacional dos CMB em um dia de operação. Podemos observar na Equação 26 uma forma esquemática do vetor solução esperado.

$$\text{Solução AG} = [\underbrace{a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6}_{\substack{\text{Solução para} \\ \text{primeira hora} \\ \text{do dia.}}} \underbrace{a_7 \ a_8 \ a_9 \ a_{10} \ a_{11} \ a_{12}}_{\substack{\text{Solução para} \\ \text{segunda hora} \\ \text{do dia.}}} \dots a_{144}]_{1 \times 144} \quad (26)$$

Percebemos que cada grupo de 6 elementos do vetor solução representa o estado de funcionamento dos conjuntos motobomba CMB1, CMB2, CMB3, CMB4, CMB5 e CMB6 respectivamente, no intervalo de correspondente a uma hora do dia.

Por fim, após determinada pelo algoritmo genético uma solução factível e com isso uma rotina operacional aplicável a um dia de operação do sistema, esse resultado

foi direcionado ao simulador hidráulico EPANET 2.0 BRASIL, para verificação do atendimento das restrições e objetivos hidráulicos pré-definidos no modelo proposto.

3.4. MODELAGEM HIDRÁULICA EM AMBIENTE EPANET 2.0 BRASIL

Realizar simulações computacionais em *softwares* de modelagem hidráulica é imprescindível para o controle eficiente de um sistema de abastecimento de água, atuando como um procedimento de apoio à gestão e ao gerenciamento operacional. A importância do emprego de um modelo de simulação é inquestionável, por permitir ao operador prever inúmeras senários do sistema e assim optar por alternativas que possam melhorar sua qualidade funcionamento visando à minimização dos custos de energia e a segurança do abastecimento.

Estas ferramentas Constituem, atualmente, um instrumento com um vasto domínio de aplicabilidade, podendo auxiliar no planejamento, projeto, operação, manutenção e reabilitação de sistemas de abastecimento de água (FERNANDES e MARQUES, 2011).

Em meados do século passado foram desenvolvidos os primeiros simuladores hidráulicos (McILROY, 1950; SURYAPRAKASAM et al., 1950).

Um *software* de simulação hidráulica, geralmente, resolve as equações de continuidade e energia com base nos dados de entrada fornecidos. Entre algumas tarefas que os simuladores hidráulicos de sistemas de abastecimento de água executam estão: análises hidráulicas para identificação de problemas de pressões insuficientes ou excedentes na rede, identificação de perdas nos sistemas, análises hidráulicas para identificação de problemas da qualidade da água, estudos dos sistemas de bombeamento com finalidade de otimização energética e o diagnóstico dos efeitos da operação de válvulas para intervenções de rotina (COSTA, 2010 *apud* GOUVEIA, 2012).

Nas últimas décadas, as pesquisas envolvendo simuladores hidráulicos têm evoluído substancialmente, o avanço da engenharia de *softwares* possibilitou o desenvolvimento de programas mais robustos, capazes de realizar uma série de cálculos com grande velocidade e precisão. Os pesquisadores apropriaram-se desse salto tecnológico para estudar problemas reais e complexos (SILVA, 2014).

Segundo Gomes (2009a), nos últimos anos surgiram várias ferramentas computacionais capazes de representar o sistema de abastecimento como um todo e simular sua operação de forma dinâmica ao longo do tempo, sendo capazes assim de auxiliar nas tomadas de decisão para melhorar a eficiência da operação. A utilização de

ferramentas computacionais na engenharia economiza tempo com a automatização de tarefas rotineiras, além de possibilitar análises mais detalhadas do problema (CASTRO, 2004).

Olaia (2012) apresentou o modelo hidráulico do sistema de abastecimento de água do Instituto de Investigação Agronômica de Chianga, em Angola. Segundo o autor, a partir dos resultados obtidos, foi possível a formulação de cenários que permitem a otimização da eficiência do sistema ao nível de dimensionamento, gestão e planeamento.

Há diversos simuladores hidráulicos disponíveis para a modelagem e simulação de sistemas de distribuição de água (Hidrocad, EPANET, INSSAA, Strumap, SynerGee, Watercad, dentre outros). Dentre os programas de simulação hidráulica, destaca-se o EPANET.

Nesse trabalho, para construção do modelo hidráulico representativo do Sistema de Abastecimento Mario Andreazza, foi utilizado o ambiente do *software* EPANET 2.0 BRASIL.

O EPANET é um simulador hidráulico desenvolvido pela agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency – EPA), que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade de água em sistemas pressurizados. O EPANET permite obter os valores da vazão em cada tubulação, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação, subdividido em múltiplos intervalos de cálculo. Adicionalmente, além de espécies químicas, o modelo simula o cálculo da idade da água e o rastreio da origem de água em qualquer ponto da rede (ROSSMAN, 2000).

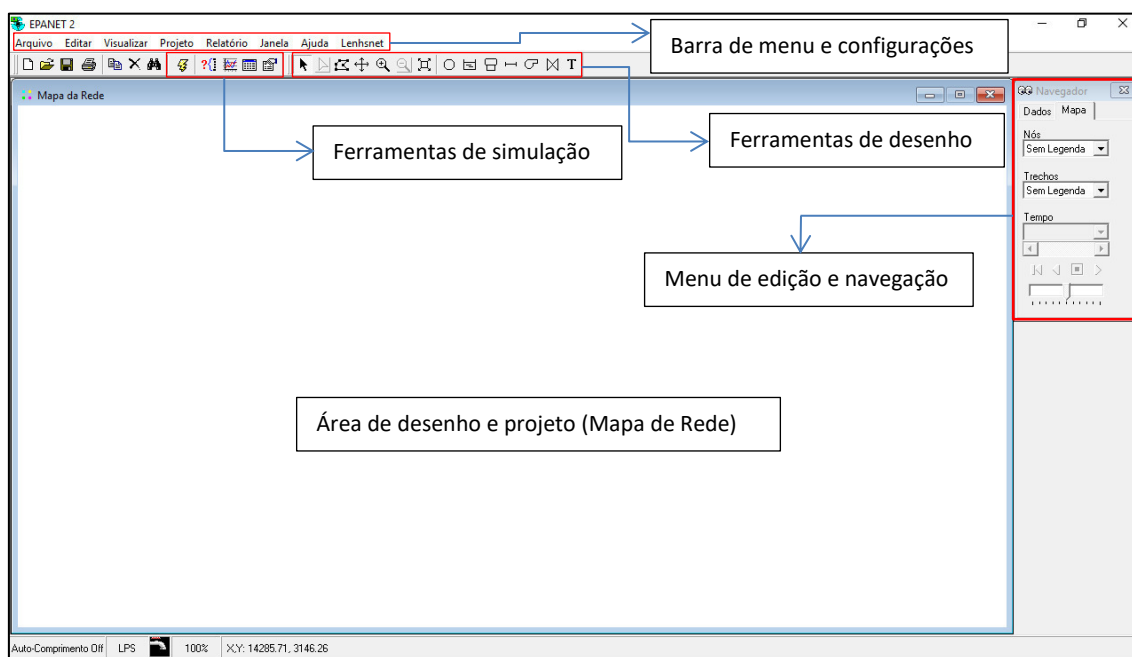
O EPANET foi concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição, melhorando o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água para consumo humano. Pode ser utilizado em diversas situações onde seja necessário efetuar simulações de sistemas pressurizados de distribuição. O estabelecimento de cenários de projeto (p.ex., expansão de uma rede existente), a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento do cloro residual e a avaliação dos consumos são alguns exemplos de aplicação do programa.

O EPANET pode ajudar a analisar estratégias alternativas de gestão, de modo a melhorar a qualidade da água do sistema, através de alterações na utilização de origens da água num sistema com múltiplas origens, alteração de esquema de funcionamento de

grupos elevatórios e enchimento/esvaziamento de reservatórios de nível variável, utilização de tratamento adicional, tal como a recloração ou seleção de tubulações para limpeza e substituição, procedimento de reabilitação de rede.

O *software* apresenta um vasto leque de possibilidades para realização de cálculos e análises. Segundo ROSSMAN (2000), o EPANET possui diversas funções, entre elas: cálculo das perdas de carga por atrito empregando as equações de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning; modelagem de bombas com velocidade de rotação constante ou variável; possibilidade de múltiplas categorias de consumo nos nós, cálculo de energia de bombeamento e seu respectivo custo, modelagem de diversos tipos de válvulas e reservatórios de nível fixo e variável; possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples ou em controles com condições múltiplas, dentre outras. A Figura 12 ilustra o ambiente de trabalho do EPANET.

Figura 12 – Representação do ambiente de trabalho do EPANET 2.0 Brasil



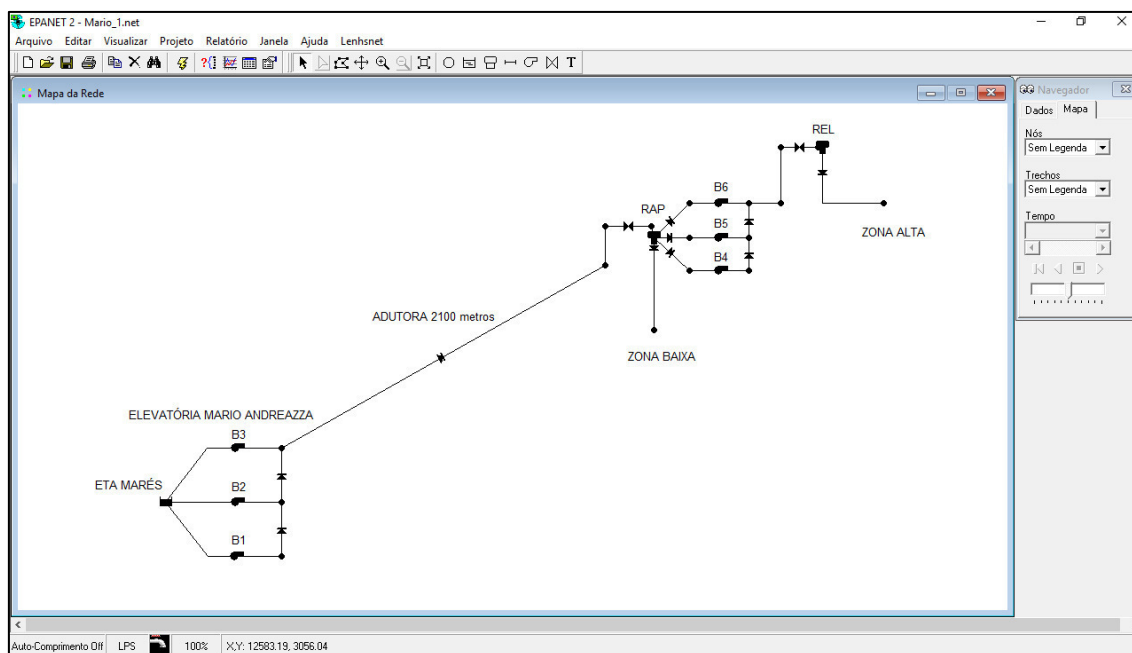
Fonte: própria

Na área de trabalho é possível representar o sistema desejado inserindo os itens disponíveis no *software*, como bombas, trechos de tubulações, válvulas diversas, reservatórios de nível fixo ou variável e também inserir textos explicativos de forma a permitir uma melhor organização e entendimento do projeto.

A partir do *software* EPANET 2.0 Brasil foi construído um modelo hidráulico computacional com as mesmas características técnicas do sistema de abastecimento em estudo, incluindo as curvas características das bombas e padrões de consumo de água. A

Figura 13 a seguir, ilustra o modelo hidráulico representativo do Sistema de Abastecimento Mario Andreazza, com todos seus elementos construtivos e equipamentos.

Figura 13 – Representação do sistema Mario Andreazza construído no ambiente do *software* EPANET 2.0 Brasil.

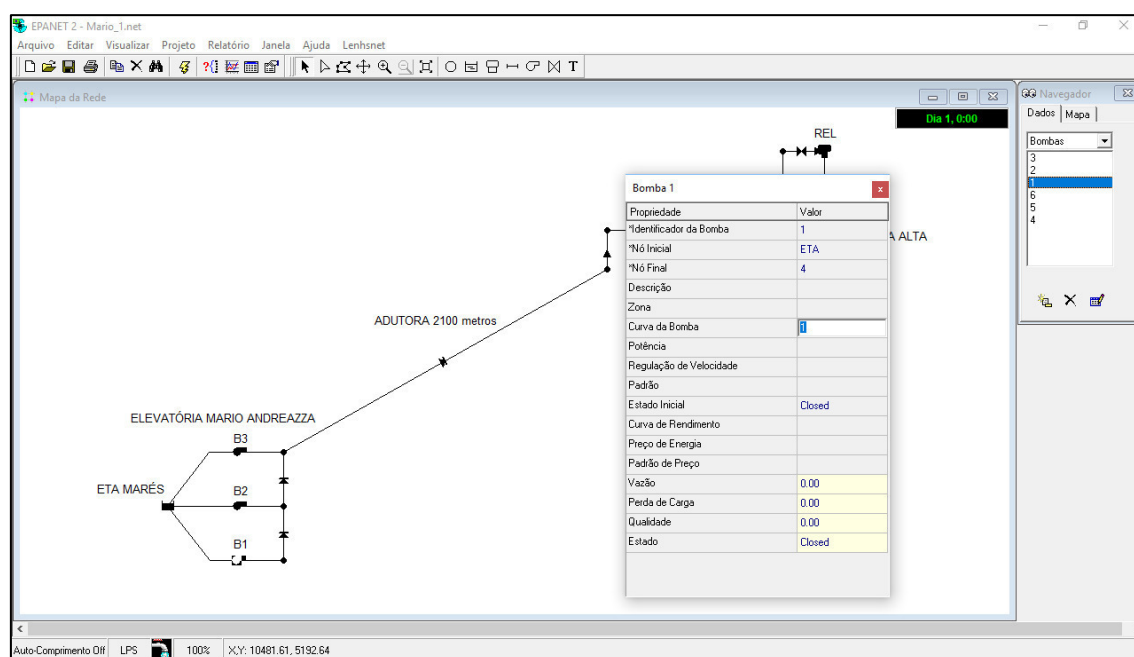


Fonte: do próprio autor

Após inserir os itens que irão compor o modelo hidráulico, é possível editar as propriedades e características específicas de cada item como, por exemplo, diâmetro, comprimento e coeficientes característicos de tubulações, editar os volumes de reservatórios, construir curvas características de bombas, curvas de demanda, padrões de consumo, utilizando o menu de edição e navegação, como podemos observar na Figura 14.

No modelo construído podemos observar os elementos que compõe o sistema, desde a captação da água pela elevatória principal, por sua vez constituída de três conjuntos motobomba, válvulas, uma adutora principal que se estende desde a Estação de Tratamento de Água de Marés, até o reservatório apoiado – RAP situado no bairro Mario Andreazza a 2.480 km da captação. É possível verificar também duas zonas de abastecimento, sendo a primeira denominada “zona baixa” e a segunda “zona alta”, onde são abastecidas pelo reservatório apoiado e pelo reservatório elevado respectivamente.

Figura 14 – Ilustração do menu de edição de propriedades dos itens do modelo.



Fonte: do próprio autor

Outra potencialidade do EPANET que foi explorada nesse trabalho é quanto sua flexibilidade de simulação, que permitiu analisar o comportamento hidráulico do sistema Mario Andreazza de modo dinâmico, ou seja, uma simulação de um período ou intervalo de tempo, sendo aplicado nesse estudo simulações de 24h em detrimento ao modo estático onde a simulação é aplicada em um único instante do tempo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este tópico apresenta uma série de resultados obtidos pela aplicação da metodologia proposta para este trabalho.

Com o objetivo de otimizar o entendimento dos resultados das diferentes etapas da metodologia, organizou-se este tópico em três partes:

- Resultados do diagnóstico hidroenergético do sistema;
- Resultados do modelo de otimização aplicado em ambiente MatLab;
- Avaliação de desempenho das Alternativas de otimização com vistas a eficiência energética.
- Avaliação de desempenho das Alternativas de otimização em ambiente EPANET Brasil 2.0 com vistas a gestão dos reservatórios;

4.1. RESULTADOS DO DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO

O diagnóstico hidroenergético aplicado ao Sistema de Abastecimento de Água Mario Andreazza foi realizado em etapas, sendo elas: Obtenção de dados cadastrais; visita prévia ao sistema; medições de parâmetros hidráulicos e elétricos; aquisição, tratamento e análise de dados.

4.1.1. Obtenção de dados cadastrais

A obtenção dos dados cadastrais acerca do sistema foi muito prejudicada devida desatualização do banco de dados da companhia que opera o sistema de abastecimento. Assim os dados de cadastro precisaram ser devidamente confirmados e validados *in loco*.

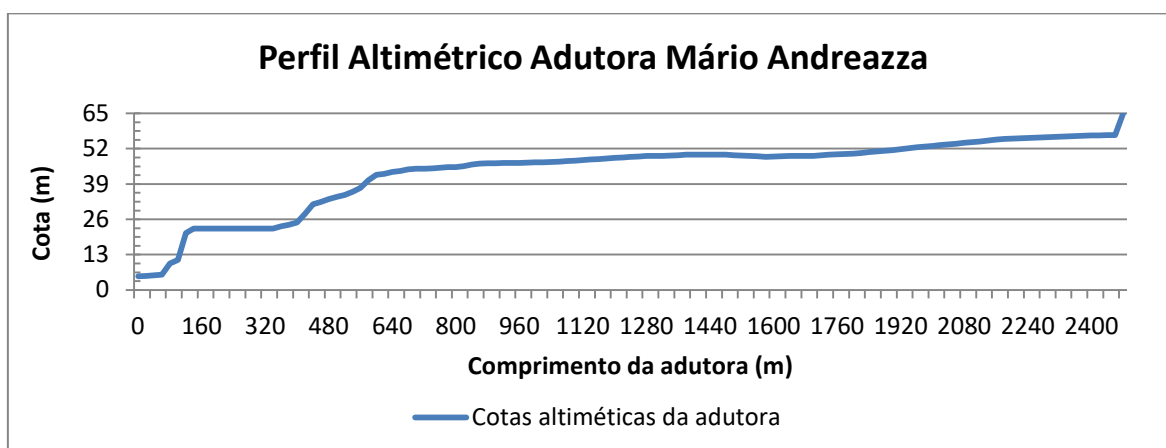
A partir do material disposto, foi possível confeccionar um gráfico com as características altimétricas da adutora com o objetivo de visualizar e analisar de forma global o projeto hidráulico do sistema conforme ilustrado na Figura 15.

As Tabelas 5 e 6 descrevem os principais dados levantados sobre a elevatória a partir do cadastro fornecido pela companhia.

O sistema estudado é munido de dois reservatórios sendo um do tipo apoiado – RAP e o segundo do tipo elevado – REL. Os reservatórios são construídos em concreto armado e possuem volumes de 1000m³ e 150m³ respectivamente.

O sistema abastece uma população de 10.400 habitantes que corresponde aos bairros de Mario Andreazza e Comercial do município de Bayeux – PB.

Figura 15 – Perfil altimétrico da adutora do Sistema Mário Andreazza



Fonte: Própria

Tabela 3 – Características de projeto da Adutora Mário Andreazza

Avaliação Operacional de Adutora:		EEAT6 - R33 - Mário Andreazza (projeto)
Dados		
Material:	Ferro fundido TK7	
Comp. da tubulação (L):	2.484,10 m	
Diâm. interno do tubo (mm):	309,60 mm	
Rugosidade do tubo (k):	0,00010 m	
Rugosidade adotada (k'):	0,00020 m	($L > 1.000 \rightarrow k' = 2,0 \times k$)
Seção do tubo:	0,07528 m ²	
Desnível geométrico (h):	59,01 m	
N.A.min da sucção:	3,40 m	
N.A.max chegada:	62,41 m	
Desnível da sucção:	-2,00 m	
Vazão (Q):	122,00 l/s	

Fonte: Cadastro Operacional, CAGEPA

Tabela 4 – Levantamento das características dos CMB.

Conjunto motobomba			
Motor		Bomba	
Fabricante:	WEG	Fabricante:	KSB
Modelo:		Modelo:	RDL 150-250
Potência:	150 CV	Vazão:	86l/s
Rotação:	3.500 rpm	Alt. Man:	87mca
Cor. Nominal:	206 A	Ø rotor:	Ø223mm

Fonte: Cadastro Operacional, CAGEPA

4.1.2. Visita prévia ao sistema

Foram realizadas três visitas prévias ao sistema. A primeira teve como objetivo principal, avaliar as condições estruturais e de segurança para viabilizar as campanhas de medição e instalação de equipamentos.

Os principais problemas estruturais observados foram quanto à limpeza e conservação da unidade e em seu entorno como crescimento vegetação e drenagem pluvial deficiente conforme ilustrado na Figura 16. Após a visita foram realizadas as recomendações de manutenção e estas devidamente realizadas pela companhia.

Figura 16 – ponto de medição pré-existente com obstrução por vegetação e alagamento.



Fonte: própria

A segunda visita teve como objetivo verificar e validar dados cadastrais fornecidos pela companhia. Foram verificados dados dos conjuntos motobomba, sucção, barrilete de recalque, adutora, alimentação elétrica e válvulas que compõem o sistema. Verificou-se que elevatória principal EE1, possui três conjuntos motobomba com mesmas características e estão instaladas em paralelo, funcionando numa configuração 2+1, ou seja, duas operando e uma como reserva ou para revezamento.

Figura 17 – Disposição em paralelo da Elevatória Mario Andreazza



Fonte: própria

A Figura 17 mostra a disposição em paralelo dos três conjuntos motobomba instalados do interior da elevatória. É possível observar no fundo da imagem a ausência de um dos motores, o qual foi removido para realização de procedimentos de manutenção pela própria concessionária.

A terceira visita teve o objetivo de identificar os potenciais pontos de medição instalação dos equipamentos.

Foi identificado um TAP instalado a 5 metros após o barrilete de recalque que se mostrou ideal para medição dos dados pressão manométrica. Após uma breve inspeção no ponto foi constatada um grande escape de ar. Esta observação ajudou na seleção de equipamento de medição menos sensível a essa condição.

Para instalação de medidor da vazão, o local mais adequado foi definido entre o barrilete de recalque e o TAP já que há um comprimento retilíneo significativo e sem interrupção aparente de válvulas.

No que se refere às medições de parâmetros elétricos, foram verificadas boas condições no interior dos gabinetes de alimentação elétrica e acionamento dos motores, apresentando boas condições para instalação dos analisadores de energia.

O reservatório apoiado possui um sistema de leitura de volume através de régua volumétrica. Apesar de pouco precisa o sistema apresentou-se satisfatório sendo possível sua utilização para monitoramento do volume dinâmico dos mesmos. Já o reservatório elevado é munido de um sistema ultrassônico de verificação de nível e volume.

Ainda na ultima sessão da visita prévia, foi constatada a inexistência de TAPs projetados para medição de vazão e pressão a montante da alimentação do reservatório apoiado. Assim para instalação de equipamentos nesse local foi preciso um trabalho de escavação para acessar a tubulação da adutora e criar a infraestrutura necessária.

4.1.3. Medições de parâmetros hidráulicos

Devido às condições evidenciadas nas visitas prévias e planejamento foi possível selecionar os equipamentos mais adequados para as medições e monitoramento de pressão manométrica e vazão do sistema. Para medição do parâmetro de pressão foi utilizada uma maleta registradora, munida de transdutor de pressão e Data Logger acoplado, modelo da empresa Lamon conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Maleta registradora de pressão modelo Lamon compact



Fonte: própria

Não foi observada nenhuma interferência significativa nas leituras de pressão devida presença de ar na tubulação, mas apenas algumas flutuações dentro de uma faixa de $\pm 0,5$ mca.

A escolha do equipamento utilizado para medir a vazão de água aduzida se deu em decorrência das condições típicas do sistema. Assim foi selecionado um Medidor de Vazão Ultrassônico modelo GE Transport® PT878 (Figura 19). O equipamento foi instalado de acordo com o manual do fabricante. As respostas do equipamento como qualidade do sinal dos transdutores e alimentação estiveram sempre dentro de suas recomendações, evidenciando que o ponto de medição e as condições de instalação foram realizados de forma adequada.

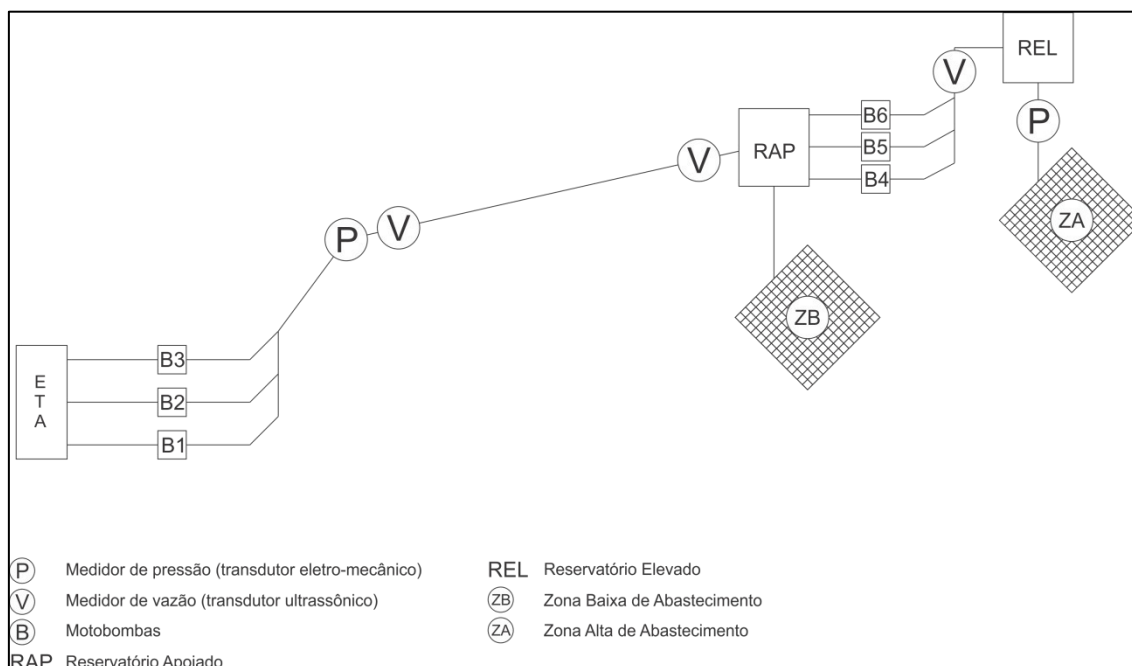
Figura 19 – Medidor de vazão ultrassônico portátil modelo GE Transport® PT878



Fonte: própria

Os equipamentos de medição foram instalados de forma a proporcionar os melhores resultados para atender aos objetivos do diagnóstico. A Figura 20 ilustra o posicionamento dos equipamentos de medição de vazão e pressão na adutora principal.

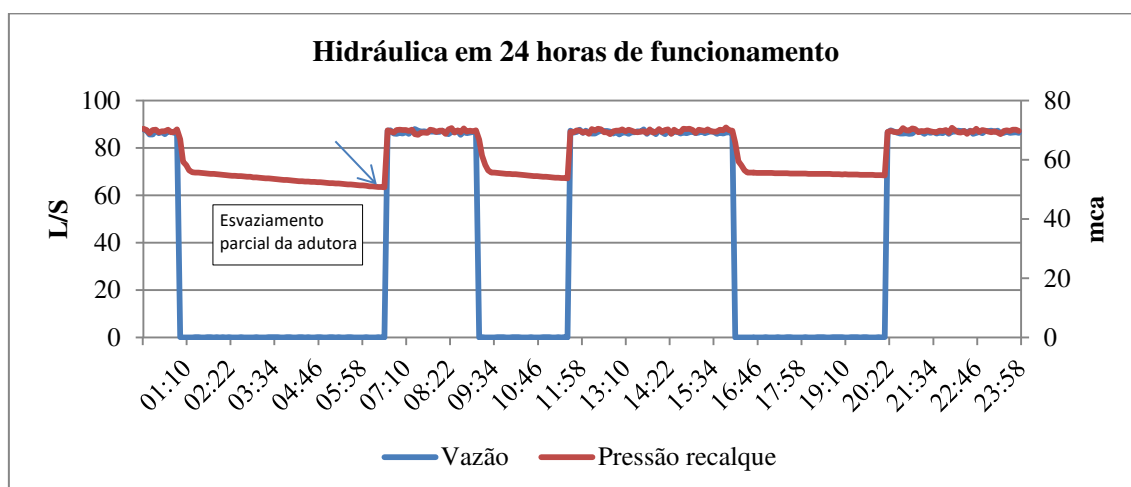
Figura 20 – posicionamento da instalação dos equipamentos de medição de pressão e vazão na adutora principal



Fonte: do próprio autor

Os dados de pressão e vazão foram medidos e monitorados simultaneamente por um período de sete dias ininterruptos. As configurações de data e hora dos equipamentos foram previamente ajustadas de forma a trabalharem sincronizados. Assim podemos observar na Figura 21 o gráfico que correlaciona dados de vazão e pressão em função do tempo, em um dia de monitoramento.

Figura 21 – Gráfico de vazão e pressão durante um dia de monitoramento



Fonte: do próprio autor

Podemos observar nessa Figura que ao interromper o bombeamento, há uma redução da pressão no ponto de medição logo após o barrilete de recalque. Esse comportamento evidencia um esvaziamento da adutora, ou seja, com o desligamento dos motores o volume de água contido no interior da adutora retornou em direção as bombas e por fim ao poço de sucção.

A partir dessa observação, verificou-se *in loco* que o problema ocorreu devido o mau funcionamento das válvulas de retenção após os motores. A deficiência no funcionamento desses equipamentos de proteção deixa todo o sistema vulnerável a golpes de aríete e outros fenômenos de transiente hidráulico.

Foram realizados ensaios individuais nos conjuntos motobomba para o levantamento de suas curvas características e verificação dos seus respectivos pontos de operação. Nessa etapa, os procedimentos instalação dos medidores de pressão foram realizados conforme preconizados pelos fabricantes.

O ensaio se dá pela medição da pressão imediatamente a montante e a jusante da bomba assim como a vazão do fluxo de água de forma simultânea, em pelo menos três pontos de operação sendo eles *shut off* (bomba ligada e válvula jusante totalmente fechada com vazão zero), vazão intermediária e para vazão máxima.

Observou-se que a válvula de controle de vazão a jusante dos conjuntos motobomba operam com abertura mínima de seção, ou seja, “estranguladas”. Esse modo de operação não é o adequado uma vez que além de sobrecarregar os motores pode também ocasionar fenômenos de cavitação e formação de bolhas de ar na própria válvula e ambas as situações foram observadas.

Ao final do monitoramento foram obtidos os valores sobre os volumes totais bombeados, como demonstrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Vazões médias e volumes totais bombeados.

Dias	Vazão média m ³ /h	Horas de funcionamento	Volume bombeado (m ³)
1	307,2	13,3	4096,3
2	318,5	12,6	4008,0
3	289,2	11,8	3374,0
4	294,3	11,5	3384,6
5	243,6	9,4	2294,0
6	279,3	10,9	2821,2
7	322,0	14,7	4749,8
Média	293,4	12,0	3532,5
Ano	-	4.380	1.289.362,5

A população atendida correspondente aos bairros de Mario Andreazza e Comercial, tem uma população de 10.400 habitantes (IBGE, 2015), assim a demanda per capita calculada pela média dos volumes bombeados é de 339 L/habitante.dia⁻¹.

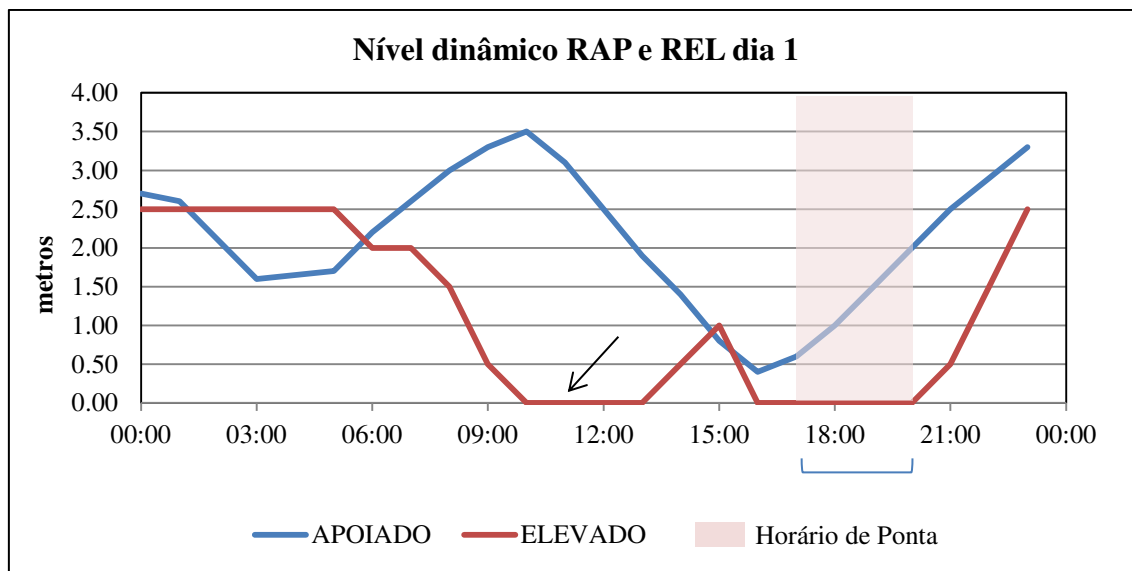
Essa grande magnitude de consumo de água evidencia diversos problemas de perdas como vazamentos na rede de distribuição e até mesmo extravasamento de reservatórios.

4.1.4. Comportamento dinâmico dos níveis dos reservatórios

Como já discutido nos itens anteriores, o gerenciamento dos níveis dos reservatórios é um ponto crucial para o funcionamento do sistema como um todo. Uma operação deficiente ou equivocada na operação de reservatórios pode ocasionar perdas substanciais de água e energia e também provocar um colapso dos reservatórios pelo seu esvaziamento pondo em risco o abastecimento de forma contínua.

As Figuras 22 à 29 representam o comportamento dos níveis dos reservatórios apoiado e elevado durante sete dias de monitoramento.

Figura 22 – Gráfico do primeiro dia de monitoramento dos níveis dinâmicos dos volumes dos reservatórios RAP e REL



Nas figuras 22, 24, 27 e 28, dias 1, 3, 6 e 7 respectivamente foram observados momentos do dia onde o nível do reservatório elevado (REL) chega à zero. Nesse momento podemos constatar que houve períodos desabastecimento da Zona Alta.

Nas figuras 22, 23, 24, 26 e 28, dias 1, 2, 3, 5 e 7 respectivamente foi observado um ganho de nível no reservatório elevado ocorrido entre 17:00 horas e 20:00 horas

(horário de ponta). Isso demonstra que nesse intervalo a EE1 estava em pleno funcionamento.

Figura 23 – Gráfico do segundo dia de monitoramento dos níveis dinâmicos dos volumes dos reservatórios RAP e REL

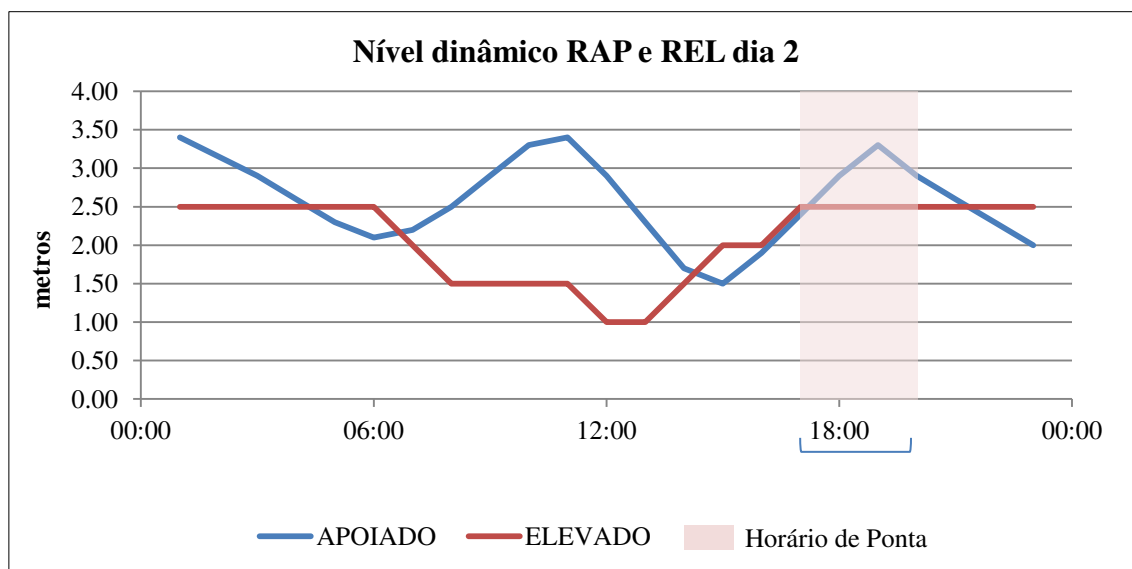
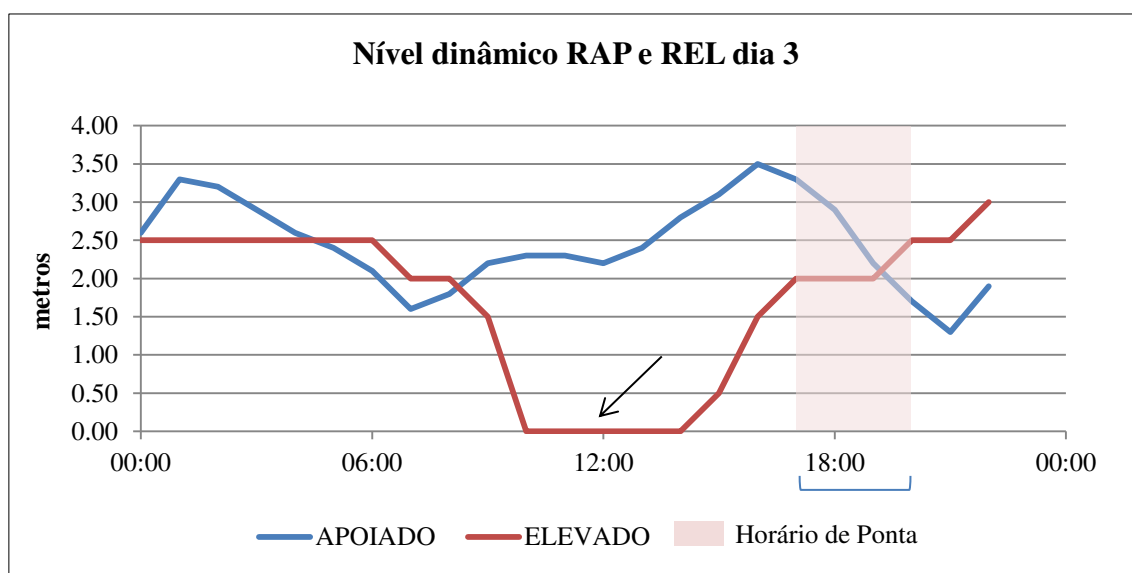


Figura 24 – Gráfico do terceiro dia de monitoramento dos níveis dinâmicos dos volumes dos reservatórios RAP e REL



É possível observar que as situação críticas de desabastecimento ocorrem em horários de pico de demanda, entre às 11:00h e 14:00h. Esta situação pode ter sido ocasionada por uma falha operacional ou mesmo por falha no acionamento dos motores da EE2.

Figura 25 – Gráfico do quarto dia de monitoramento dos níveis dinâmicos dos volumes dos reservatórios RAP e REL

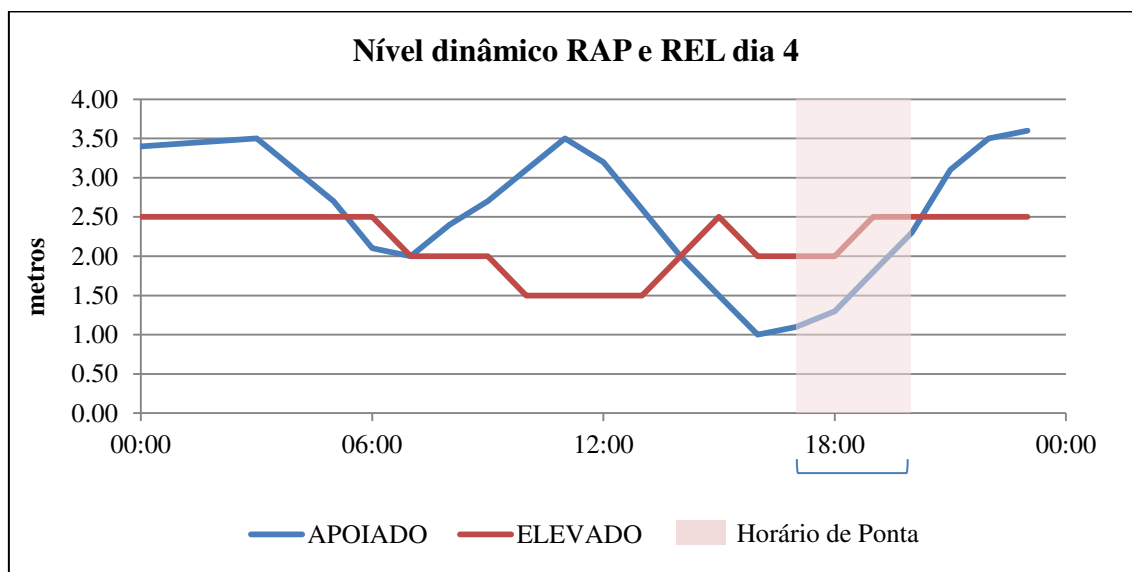
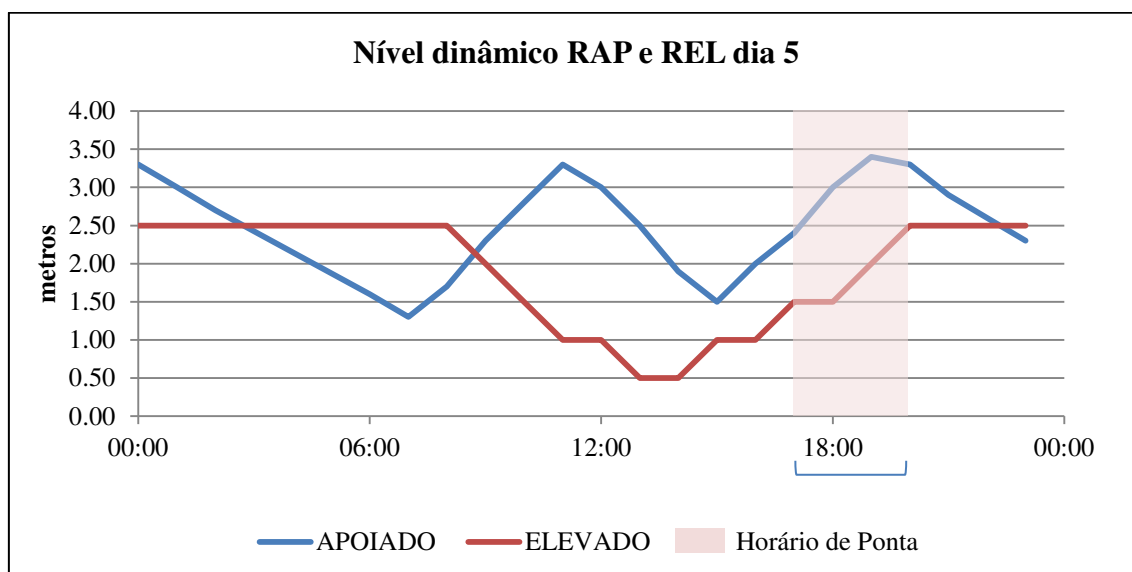


Figura 26 – Gráfico do quinto dia de monitoramento dos níveis dinâmicos dos volumes dos reservatórios RAP e REL



O gráfico de nível disposto na Figura XX, referente ao dia 5, apresentou uma grave situação de bombeamento simultâneo nas EE1 e EE2 em pleno horário de ponta, ou seja, no intervalo do dia onde a tarifa é significativamente mais onerosa.

Figura 27 – Gráfico do sexto dia de monitoramento dos níveis dinâmicos dos volumes dos reservatórios RAP e REL

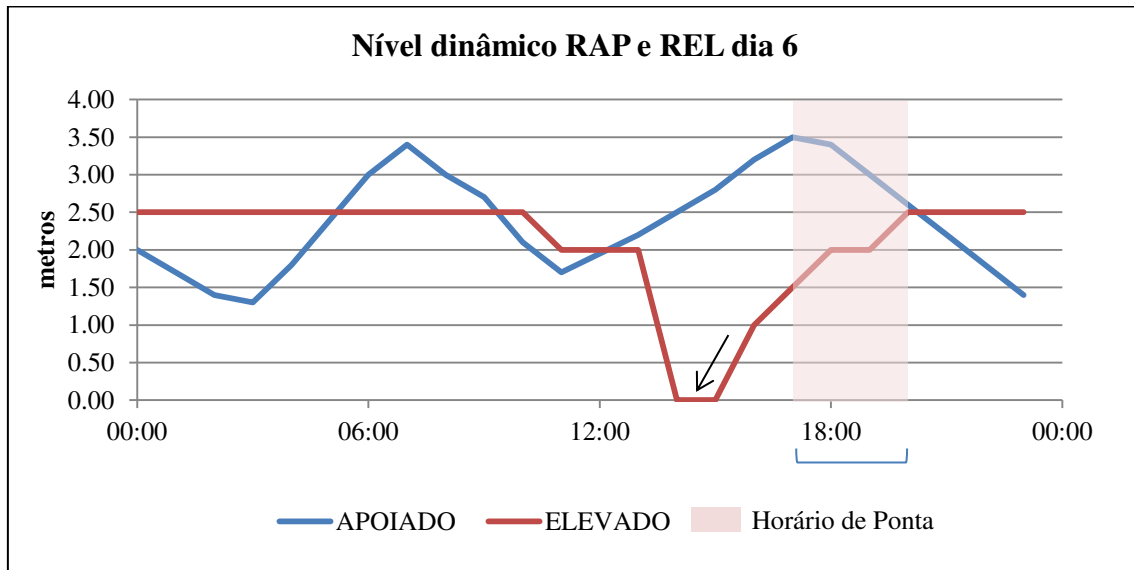
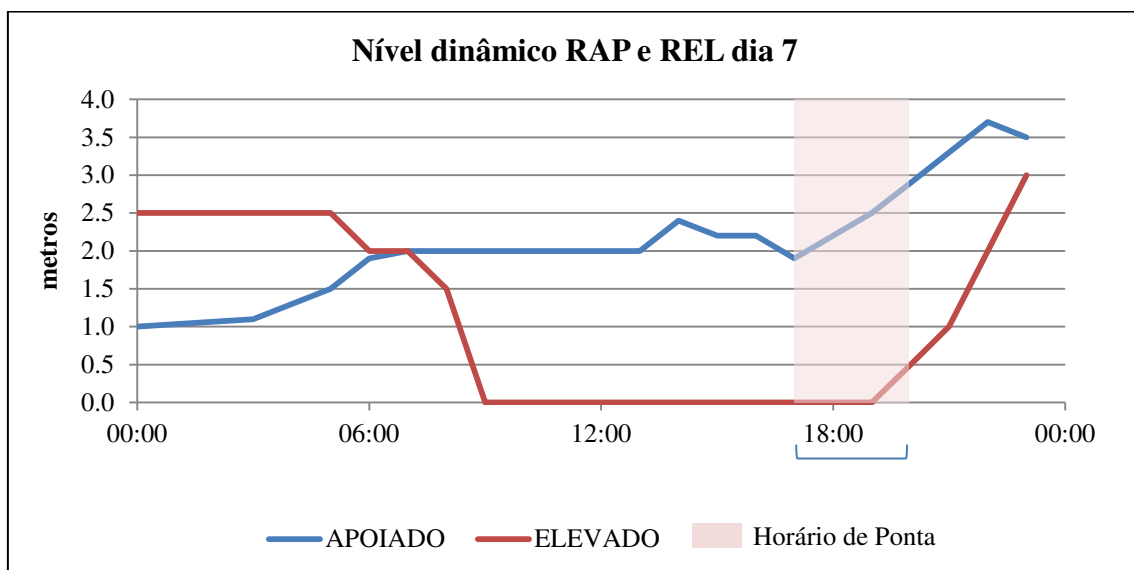


Figura 28 – Gráfico do sétimo dia de monitoramento dos níveis dinâmicos dos volumes dos reservatórios RAP e REL



4.1.5. Medições de parâmetros elétricos

Para a análise e registro dos parâmetros elétricos foram utilizados analisadores de energia do modelo Fluke® 433 (Figura 29), os quais foram instalados no interior dos gabinetes de controle e alimentação elétrica dos motores.

Figura 29 – Analisador de energia portátil modelo Fluke® 433



Fonte: própria

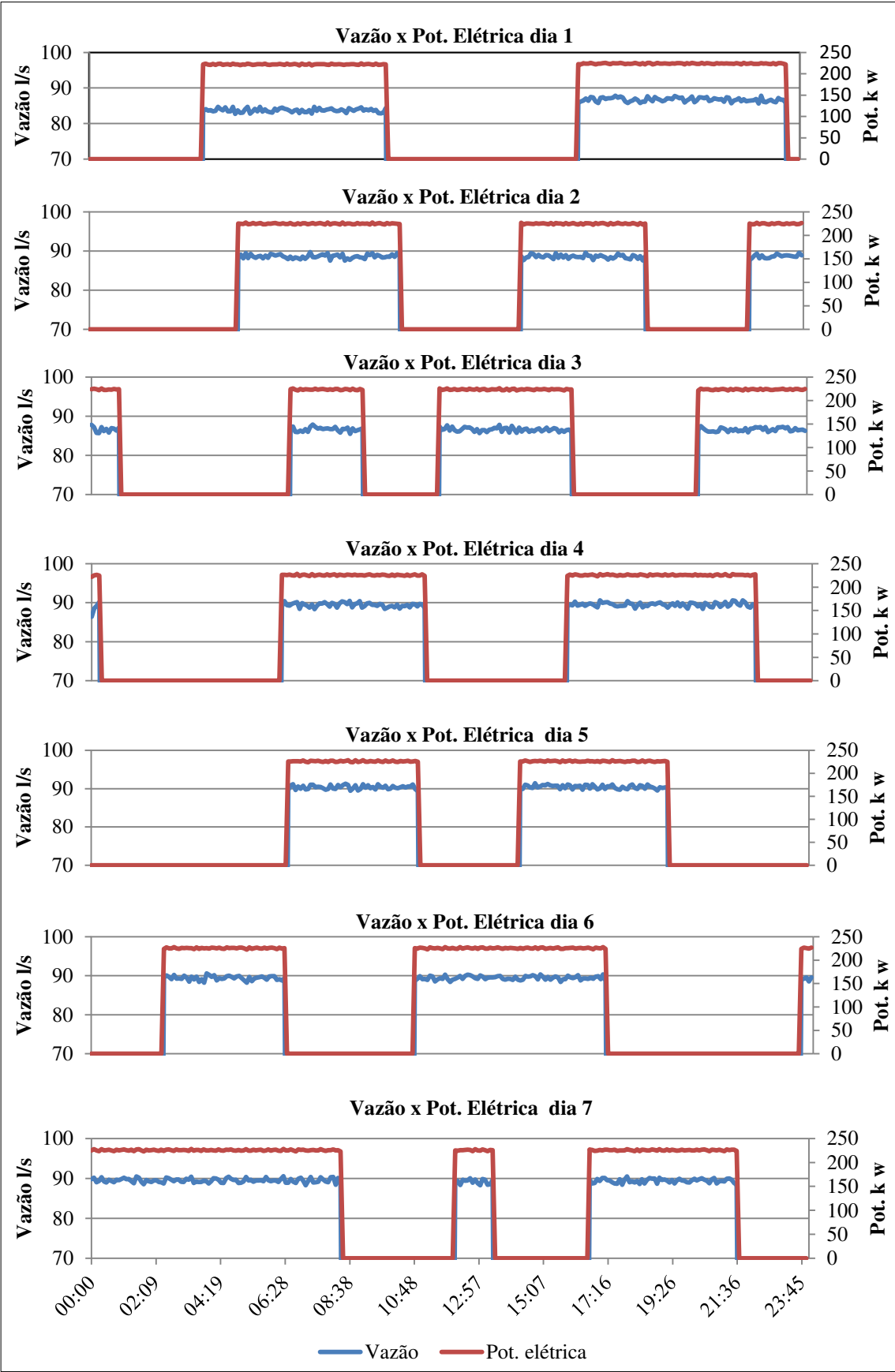
Vale ressaltar que todos os procedimentos de segurança estabelecidos na NR10 foram seguidos rigorosamente para a realização das medições.

Os instrumentos de coleta de dados elétricos tiveram as configurações de data e hora devidamente sincronizados com os de medição de vazão e pressão de forma que todas as informações foram adquiridas de forma simultânea.

Na Figura 30 podemos observar o gráfico de vazão e potência elétrica dos conjuntos motobomba durante os sete dias de monitoramento na EE1. Observou-se a plena sincronia entre os instrumentos podendo-se identificar com clareza o horário dos acionamentos dos conjuntos motobomba.

Vemos que a partir dos gráficos é possível identificar exatamente os horários de acionamento dos motores quando a potência sai do seu estado inicial 0 (zero) atingindo em média em torno de 224kw. Uma das vantagens da verificação simultânea de múltiplos parâmetros utilizando equipamentos não dependentes entre si é a validação dos resultados. Ao observamos os momentos de alteração súbita de potência, e no mesmo instante também confirmado dados de vazão, podemos admitir que efetivamente houve o acionamento dos motores e que tal consumo de energia resultou no bombeamento efetivo de água. Esse método permitiu eliminar possíveis erros de interpretação dos dados que viessem a ser ocasionados por fenômenos externos, como anomalias dos próprios instrumentos de medição entre outros.

Figura 30 – Gráfico do monitoramento de vazão e potência elétrica dos motores de forma simultânea durante 7 dias ininterruptos.



Fonte: do próprio autor

Na Tabela 6 podemos observar os resultados dos acúmulos de horas de funcionamento dos motores nos horários de *ponta* e *fora de ponta*.

Tabela 6 – Horas acumuladas de funcionamento nos horários de ponta e fora de ponta.

Dias	Horas de funcionamento (B1 e B3)	Ponta (horas)	Fora de ponta (horas)
1	13,3	3	10,3
2	12,6	1,7	10,9
3	11,8	-	11,8
4	11,5	3	8,5
5	9,4	2,25	7,15
6	10,9	0,25	10,65
7	14,7	3	11,7

4.1.6. Avaliação dos custos de bombeamento do sistema atual

Na avaliação de desempenho de estações de bombeamento de água é importante calcular indicadores que permitam realizar comparações de modo a possibilitar uma visão geral entre alternativas. No âmbito do saneamento é comum a utilização dos indicadores CEE – Consumo Específico de Energia Elétrica e CEN – Consumo Específico Normalizado, como parâmetros de análise. O CEE permite apenas realizar um comparativo de desempenho energético do sistema nos momento antes e após as intervenções de efficientização, enquanto o CEN permite também que analista possa comparar o sistema em questão com outros sistemas distintos.

Em função dos dados de vazão e potência elétrica foram levantados os consumos específicos e normalizado de energia elétrica da elevatória no período de amostragem e uma estimativa de seu consumo anual conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – consumos específicos, normalizados e estimativa de consumo anual de energia elétrica.

Consumo específico de energia elétrica (kWh/m³ bombeado) CEE Médio	0,638 kWh/m³
Consumo específico normalizado (kWh/m³ a 100m de elevação) CEN Médio	0,953 kWh/m³
Consumo anual de energia elétrica (kWh/ano) Consumo Atual	975.595,36 kWh/ano

Estas informações são importantes para avaliar o processo de efficientização do sistema, criando uma linha de base para comparação posterior.

Para cálculos e estimativas dos custos com o consumo de energia elétrica pelo sistema, foi utilizada neste trabalho a tarifa Horo Azul, conforme valores descritos na Tabela 8

Tabela 8 – Tarifa Horo Azul para demanda de potência contratada e tarifa de consumo para o período de 2015

Demanda (R\$/kW)				Consumo (R\$/kWh)	
Normal		Ultrapassagem			
Ponta	F. Ponta	Ponta	F. Ponta	Ponta	F. Ponta
36,30	11,91	-	-	0,33	0,22

Nas condições atuais, a demanda de potência estimada para o sistema é de 224kW/mês, assim podemos calcular o custo mensal para este item como apresentado no Tabla 9.

Tabela 9 – Custo mensal e anual referente à demanda de potência contratada para o sistema

Potência (kW)		Tarifa (R\$/kW)	Custo (R\$/mês)	Custo (R\$/ano)
Ponta	224,7	36,30	8.131,20	97.574,4
F. Ponta		11,91	2.667,84	32.014,0
		Total	19.799,04	129.588,4

A partir dessas informações consumo elétrico e considerando a tarifa de 0,33 R\$/kWh e de 0,22 R\$/kWh para os horários de ponta e fora de ponta respectivamente, aplicada pela concessionária para o período de 2015, temos os custos de bombeamento apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Custos diários e custo anual de bombeamento nos horários de ponta e fora de ponta.

Dias	Fora de Ponta (horas)	Custo R\$	Ponta (horas)	Custo R\$
1	10,3	511,233	3	223,35
2	10,9	541,013	10,9	126,56
3	11,8	585,684	11,8	0
4	8,5	421,891	8,5	223,35
5	7,15	354,885	7,15	167,51
6	10,65	528,605	10,65	18,61
7	11,7	580,721	11,7	223,35
Total Anual	3.702	183.753,03	688	51.243,80

Em termos de tempo de bombeamento temos o horário fora de ponta representou 84% das horas de funcionamento enquanto o horário de ponta, ou seja, no horário com maior custo tarifário, o tempo de funcionamento foi de 16%. Porém, em termos de dos custos reais, o horário fora de ponta representou apenas 78% enquanto o funcionamento no horário de ponta representou 22% dos custos totais de bombeamento como apresentado na Tabela 11. Esse comportamento se deu pela diferenciação tarifária aplicada pela concessionária.

Tabela 11 – Representação em termos de porcentagem de horas e custos de bombeamento para o ano de 2015.

	Fora de Ponta	Ponta
Horas em funcionamento	84 %	16 %
Custos	78 %	22 %

O custo de operação para um ano de funcionamento para o sistema Mario Andreazza foi calculado pela soma do custo de demanda de potência contratada total de R\$ 129.588,4 e a soma dos custos relativos ao consumo de energia no horário fora de ponta R\$ 183.753,03 e no horário de ponta R\$ 51.243,80 totalizando um montante de R\$ 364.585,31.

4.2. RESULTADOS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO PELA APLICAÇÃO DE ALGORÍTIMOS GEÉTICOS EM AMBIENTE MATLAB®

4.2.1. Obtenção de alternativas de operação para EE1 e EE2

Foram obtidas soluções considerando dois cenários ou alternativas de intervenção e otimização do sistema. No primeiro, denominado Alternativa 1, na qual o sistema sofrerá apenas intervenções operacionais e Alternativa 2, onde o sistema será submetido além das mudanças em suas rotinas de operação, como também submetido a melhorias estruturais profundas como substituição dos conjuntos motobomba, válvulas operacionais e de proteção e redução das demandas de água.

Para ambas as alternativas foram consideradas ainda três condições iniciais de simulação relacionadas aos níveis dos reservatórios apoiado e elevado, sendo estes, nível mínimo, nível intermediário (50% da capacidade do reservatório) e nível máximo.

Assim, para a Alternativa 1, foram obtidos três soluções em forma de vetores binários de 144 dígitos e cada uma delas representativas das rotinas operacionais da EE1 e EE2. Estas soluções são propostas como intervenções meramente operacionais e a princípio sem custos imediatos. A Tabela 12 apresenta os resultados do AG para o modelo de otimização proposto.

Tabela 12 – Soluções para Alternativa 1, obtidas pela aplicação de AG para 24 horas de operação, considerando três cenários iniciais para os reservatórios.

Condições iniciais	Solução binária do AG
Reservatórios com níveis máximos às 00:00 horas	000000 000000 000000 000000 000000 000000 000000 000000 000000 000010 100010 110000 000010 100000 100000 110010 110100 000000 000000 000000 000000 000010 000000 000000
Reservatórios com níveis intermediários às 00:00 horas	000000 000000 000000 000000 000000 000100 110000 100000 000000 000010 100000 110100 000100 100000 100100 110000 110010 000000 000000 000000 000100 000000 000000 000000
Reservatórios com níveis mínimos às 00:00 horas	010100 000000 010000 000000 000010 100000 010000 000000 000000 010100 110010 010000 000100 100000 110000 010010 110010 000000 000000 000000 000000 000100 000000 000000

Dessa forma é válido afirmar que a quantidade de horas de funcionamento dos motores das elevatórias se dá pelo somatório dos elementos de cada solução

individualmente e assim obter as estimativas de consumo total de energia elétrica e volumes bombeados.

A fim permitir uma visualização mais amigável e prática dos resultados ou soluções foram estas apresentadas na forma planilhas as rotinas operacionais das elevatórias. Essa conversão é possível tendo em vista que cada elemento apresentado representa uma condição de funcionamento de um motor específico. Assim, um elemento representado pelo dígito “1” corresponde o estado “ON” ou motor ligado enquanto e o dígito “0” para o estado “OFF” indicando motor desligado.

As Tabelas 13, 14 e 15 a seguir demonstram a conversão das soluções binárias resultantes da aplicação do Algoritmo Genético para Alternativa 1, explicitando o estado de funcionamento dos motores e seus respectivos horários de acionamento e parada.

Tabela 13 – Solução proposta pelo AG, na forma de planilha operacional e considerando reservatórios em nível máximo às 00:00h.

Rotinas operacionais propostas						
hora	EE1			EE2		
	CMB1	CMB2	CMB3	CMB4	CMB5	CMB6
00:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
01:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
02:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
03:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
04:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
05:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
06:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
07:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
08:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
09:00	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
10:00	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
11:00	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
12:00	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
13:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
14:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
15:00	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF
16:00	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF
17:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
18:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
19:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
20:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
21:00	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
22:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
23:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF

Tabela 14 – Solução operacional proposta pelo AG, na forma de planilha operacional e considerando reservatórios em nível intermediário (aproximadamente 50%) às 00:00h.

Rotinas operacionais propostas						
hora	EE1			EE2		
	CMB1	CMB2	CMB3	CMB4	CMB5	CMB6
00:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
01:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
02:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
03:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
04:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
05:00	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
06:00	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
07:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
08:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
09:00	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
10:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
11:00	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF
12:00	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
13:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
14:00	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
15:00	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
16:00	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF
17:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
18:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
19:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
20:00	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
21:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
22:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
23:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF

Tabela 15 – Solução operacional proposta pelo AG, na forma de planilha operacional e considerando reservatórios em nível mínimo às 00:00h.

Rotinas operacionais propostas						
hora	EE1			EE2		
	CMB1	CMB2	CMB3	CMB4	CMB5	CMB6
00:00	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF
01:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
02:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
03:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
04:00	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
05:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
06:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
07:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
08:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
09:00	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF
10:00	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF
11:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
12:00	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
13:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
14:00	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
15:00	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF
16:00	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF
17:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
18:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
19:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
20:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
21:00	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
22:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
23:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF

Verificou-se que todas as alternativas apresentadas se mostraram satisfatória no sentido de que foram capazes de operar o sistema evitando o bombeamento no horário de ponta, ou seja, no período de três horas compreendido entre às 17h e 20h onde o custo ou tarifa da energia elétrica é mais elevado.

Para Alternativa 1, no que se refere à quantidade de horas de operação foram obtidos os seguintes resultados conforme Tabela 16. É possível observar que houve maior acúmulo de horas de bombeamento para condição inicial onde os reservatórios iniciam a simulação com níveis mínimos.

Tabela 16 – Horas de funcionamento dos CMB acumuladas em 24 horas para Alternativa 1.

Condições iniciais	EE1 (horas de bombeamento)	EE2 (horas de bombeamento)
Reservatórios com níveis máximos às 00:00 horas	9	6
Reservatórios com níveis intermediários às 00:00 horas	12	7
Reservatórios com níveis mínimos às 00:00 horas	14	8

Para a Alternativa 2 também foram obtidos três soluções em forma de vetores binários representativas das rotinas operacionais da EE1 e EE2. Porém, esta alternativa está associada a aplicação de intervenções estruturais significativas como a substituição dos conjuntos motobomba por equipamentos novos e mais eficientes e também considerando um programa de redução de perdas de água com redução de 30% na demanda. A Tabela 17 apresenta os resultados do AG para o modelo de otimização proposto.

Tabela 17 – Soluções obtidas para Alternativa 2, para 24 horas de operação, considerando três cenários iniciais para os reservatórios.

Condições iniciais	Solução binária do AG
Reservatórios com níveis máximos às 00:00 horas.	000000 000000 000000 000000 000000 000000 000000 100000 000100 000010 100000 010000 100010 000000 100000 110010 110100 000000 000000 000000 000100 000000 000000 000000
Reservatórios com níveis intermediários às 00:00 horas	000000 000000 000000 000000 000000 110100 000000 100000 100100 000010 100000 010000 100010 000000 100000 110010 110100 000000 000000 000000 000000 000010 000000 000000
Reservatórios com níveis mínimos às 00:00 horas	110010 000000 000000 000000 000000 000000 110010 110000 000000 000010 110010 110000 000010 110000 000000 110010 000100 000000 000000 000000 000000 000010 000000 010000

Para Alternativa 2, no que se refere à quantidade de horas de operação foram obtidos resultados muito semelhantes ao apresentados pela Alternativa 1. Nos dados apresentados na Tabela 18, podemos observar que também houve maior acúmulo de horas de bombeamento para condição inicial onde os reservatórios iniciam a simulação com níveis mínimos. Isso ocorreu pela necessidade do sistema permanecer atendendo a demanda de água pelas zonas de abastecimento e também atender as condições e objetivos hidráulicos estabelecidos, como não permitir o esvaziamento dos reservatórios e acumular um volume de água suficiente até às 17:00 horas afim de permitir a parada dos motores no horário de ponta.

Tabela 18 – Horas de funcionamento dos CMB acumuladas em 24 horas para Alternativa 2.

Condições iniciais	EE1 (horas de bombeamento)	EE2 (horas de bombeamento)
Reservatórios com níveis máximos às 00:00 horas	9	6
Reservatórios com níveis intermediários às 00:00 horas	12	7
Reservatórios com níveis mínimos às 00:00 horas	13	7

Tabela 19 – Solução proposta pelo AG, na forma de planilha operacional e considerando reservatórios em nível máximo às 00:00h.

Rotinas operacionais propostas						
hora	EE1			EE2		
	CMB1	CMB2	CMB3	CMB4	CMB5	CMB6
00:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
01:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
02:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
03:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
04:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
05:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
06:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
07:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
08:00	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
09:00	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
10:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
11:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
12:00	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
13:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
14:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
15:00	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF
16:00	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF
17:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
18:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
19:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
20:00	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
21:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
22:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
23:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF

Tabela 20 – Solução operacional proposta pelo AG, na forma de planilha operacional e considerando reservatórios em nível intermediário (aproximadamente 50%) às 00:00h.

Rotinas operacionais propostas						
hora	EE1			EE2		
	CMB1	CMB2	CMB3	CMB4	CMB5	CMB6
00:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
01:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
02:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
03:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
04:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
05:00	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF
06:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
07:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
08:00	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
09:00	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
10:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
11:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
12:00	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
13:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
14:00	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
15:00	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF
16:00	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF
17:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
18:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
19:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
20:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
21:00	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
22:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
23:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF

Tabela 21 – Solução operacional proposta pelo AG, na forma de planilha operacional e considerando reservatórios em nível mínimo às 00:00h.

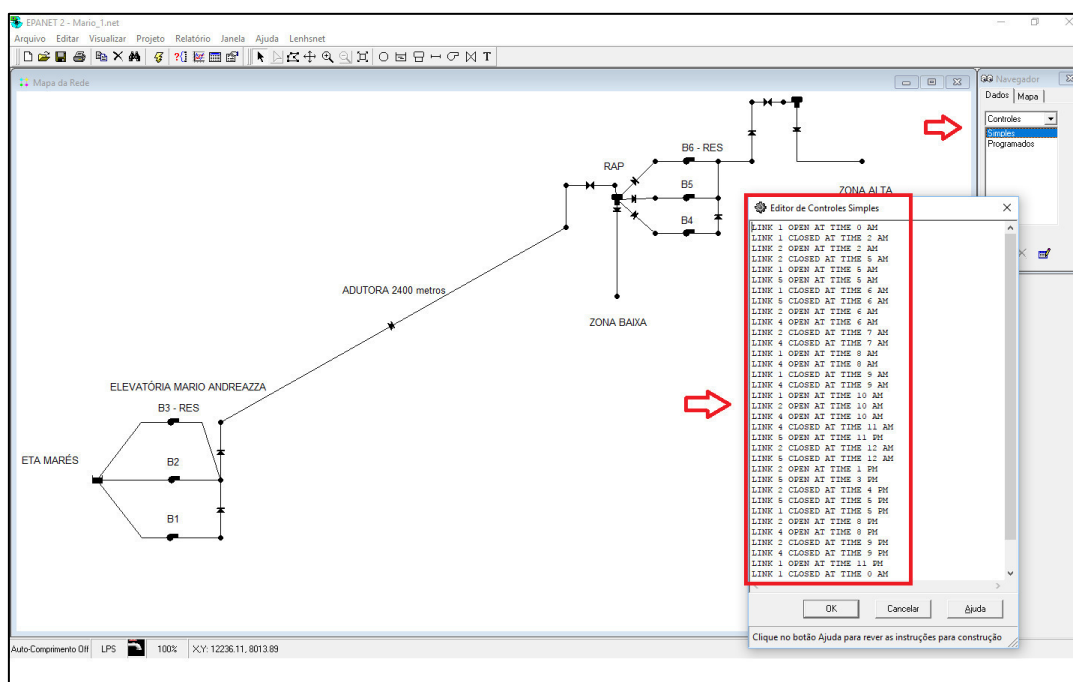
Rotinas operacionais propostas						
hora	EE1			EE2		
	CMB1	CMB2	CMB3	CMB4	CMB5	CMB6
00:00	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
01:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
02:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
03:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
04:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
05:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
06:00	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF
07:00	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
08:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
09:00	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
10:00	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF
11:00	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
12:00	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
13:00	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
14:00	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
15:00	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
16:00	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
17:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
18:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
19:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
20:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
21:00	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
22:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
23:00	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF

As Tabelas 19, 20 e 21 demonstram a conversão das soluções apresentadas na Tabela 18 referentes a Alternativa 2, explicitando o estado de funcionamento dos motores e seus respectivos horários de acionamento e parada.

4.3. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS ALTERNATIVAS DE OTIMIZAÇÃO EM AMBIENTE EPANET 2.0 BRASIL COM VISTAS A GESTÃO DOS RESERVATÓRIOS

Para testar a validade da convergência dos Algoritmos Genéticos a uma solução otimizada em termos consumo de energia elétrica e que seja factível de ser aplicada ao sistema de abastecimento Mario Andrezza, as soluções apresentadas pela rotina de otimização, foram implementadas no modelo hidráulico construído no ambiente do *software* EPANET 2.0 BRASIL. Assim, também foi verificado o atendimento às restrições e objetivos hidráulicos do sistema.

Figura 31 – Implementação das rotinas operacionais de acionamento dos motores, propostas pelo algoritmo Genético, no simulador EPANET.



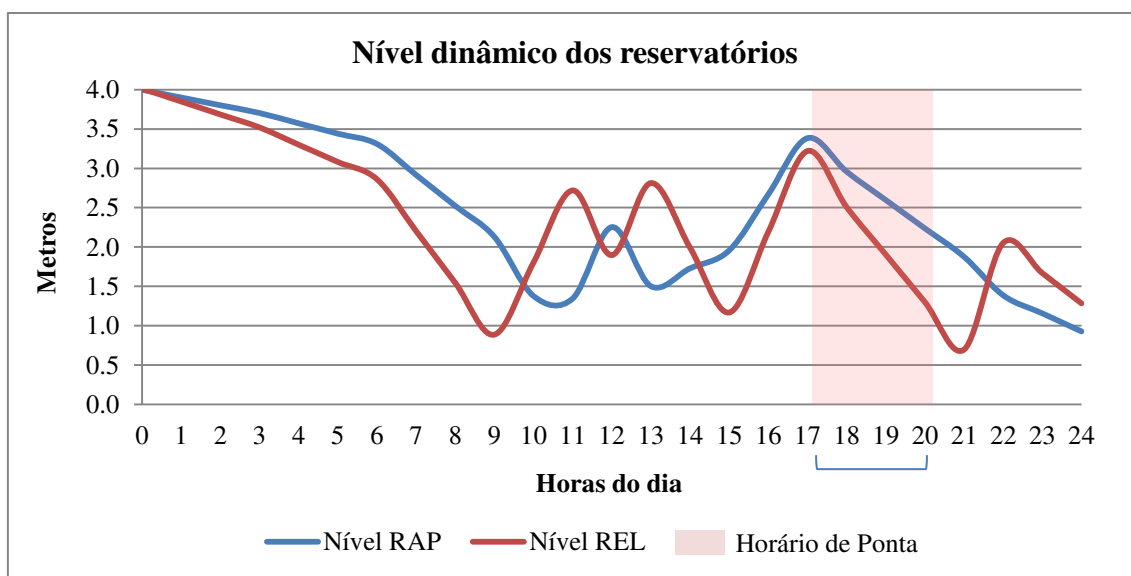
Fonte: própria

As rotinas operacionais das alternativas propostas foram implementadas no simulador EPANET através da opção “controles” como observado na Figura 31. Nessa janela de edição foram inseridos os horários de acionamento e desligamento dos motores.

Nessa etapa foram simulados para cada alternativa três cenários distintos com relação as condições iniciais dos níveis dos reservatórios, conforme apresentado nas Tabelas 12 e 17 do item 4.2.1. As simulações foram realizadas para um horizonte de 24 horas de funcionamento das elevatórias.

A partir dos resultados da simulação hidráulica, foi possível visualizar as curvas de volume dos reservatórios no decorrer de um dia de funcionamento. As Figuras 32, 33 e 34, ilustram o comportamento dinâmico dos níveis de água nos reservatórios RAP e REL para a Alternativa 1.

Figura 32 – Resposta dos níveis dos reservatórios, para condição inicial de volume máximo às 00:00 horas.



Podemos observar na Figura 32, que os reservatórios não ultrapassaram seu volume máximo, ou seja, mesmo na condição inicial de simulação onde os reservatórios partem de seu nível máximo, a solução apresentada pelo algoritmo foi capaz de reduzir o número de acionamentos dos motores e assim equalizar os volumes em função das demandas de água. Observou-se também que os reservatórios atingiram seu maior nível exatamente às 17:00 horas. Esse comportamento demonstra o cumprimento de um dos objetivos hidráulicos do modelo e tem como objetivo acumular água suficiente para evitar acionamento dos motores no horário de ponta. Nesse caso, o volume acumulado no RAP até o início do horário de ponta foi suficiente para suprir a demanda até o fim do dia. Já para o REL, foi necessário a retomada do bombeamento na EE2 às 21:00 horas já no intervalo fora do horário de maior custo, sendo aceitável para evitar seu esvaziamento.

Figura 33 – Resposta dos níveis dos reservatórios, para condição inicial de volume intermediário às 00:00 horas.

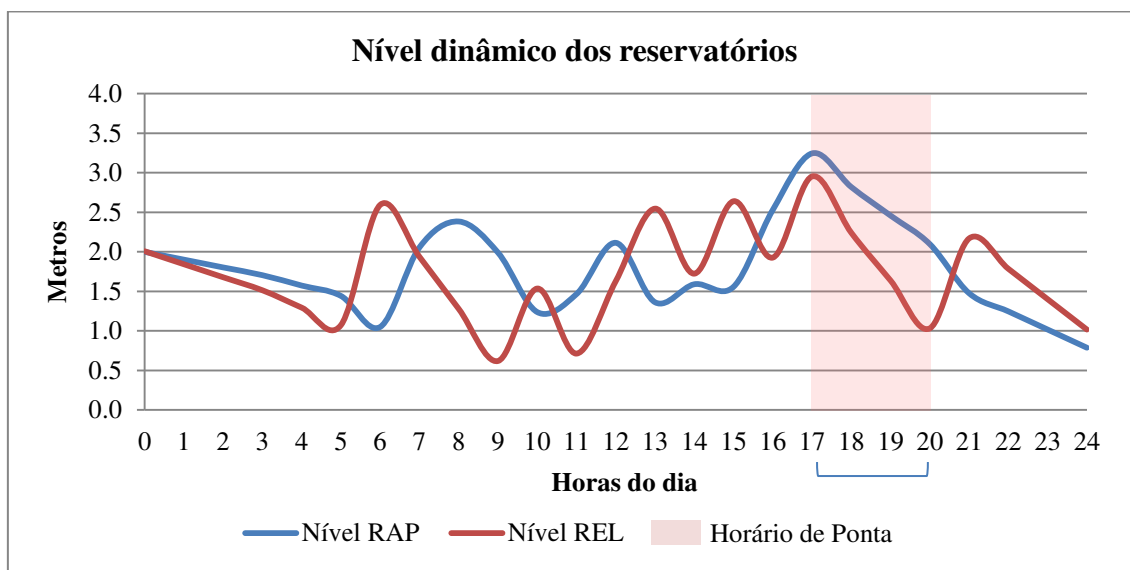
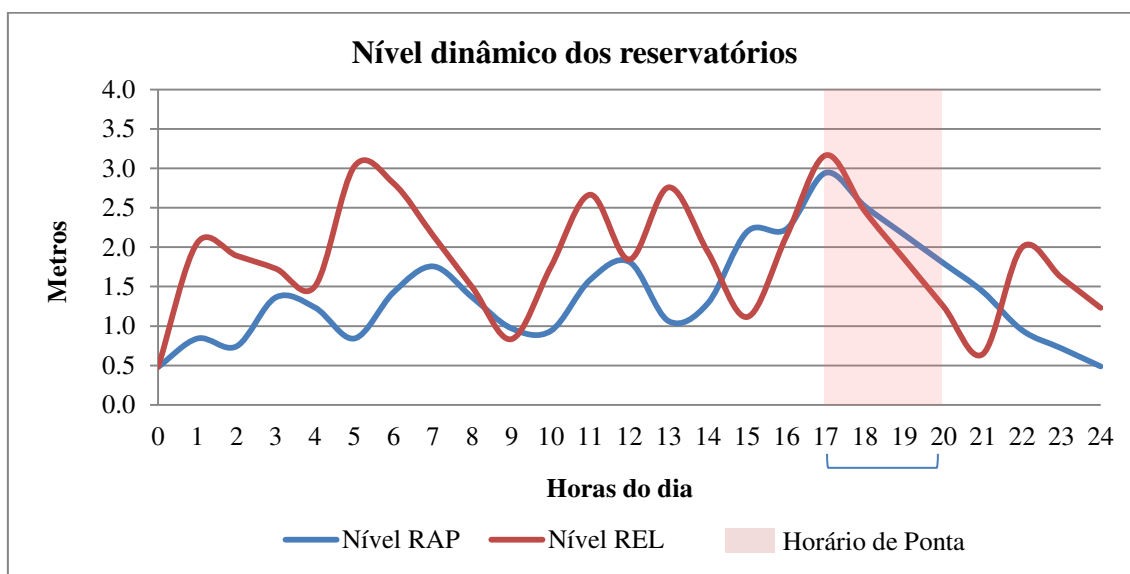


Figura 34 – Resposta dos níveis dos reservatórios, para condição inicial de volume mínimo às 00:00 horas.



Em síntese, em simulação de 24 horas de funcionamento, as soluções apresentadas para a alternativa 1 responderam de forma satisfatória com um bom gerenciamento dos níveis dos reservatórios. As rotinas operacionais propostas pelo algoritmo genético possibilitou o desligamento das unidades de bombeamento durante o horário de ponta, proporcionando uma redução nos custos com energia elétrica. Ao mesmo tempo o sistema atendeu as condições hidráulicas necessárias para evitar o

desabastecimento pelo esvaziamento do reservatório como também eliminou possibilidade de perdas de água por extravasamento.

As figuras 35, 36 e 37 ilustram o comportamento do nível dinâmico dos reservatórios RAP e REL em função das rotinas operacionais apresentadas para a alternativa 2. Foi observado que durante 24 horas de simulação, assim como na alternativa 1, os reservatórios responderam de forma satisfatória com um bom gerenciamento de seus volumes.

Figura 35 – Resposta do nível dinâmico dos reservatórios à alternativa 1 com nível máximo às 00:00h

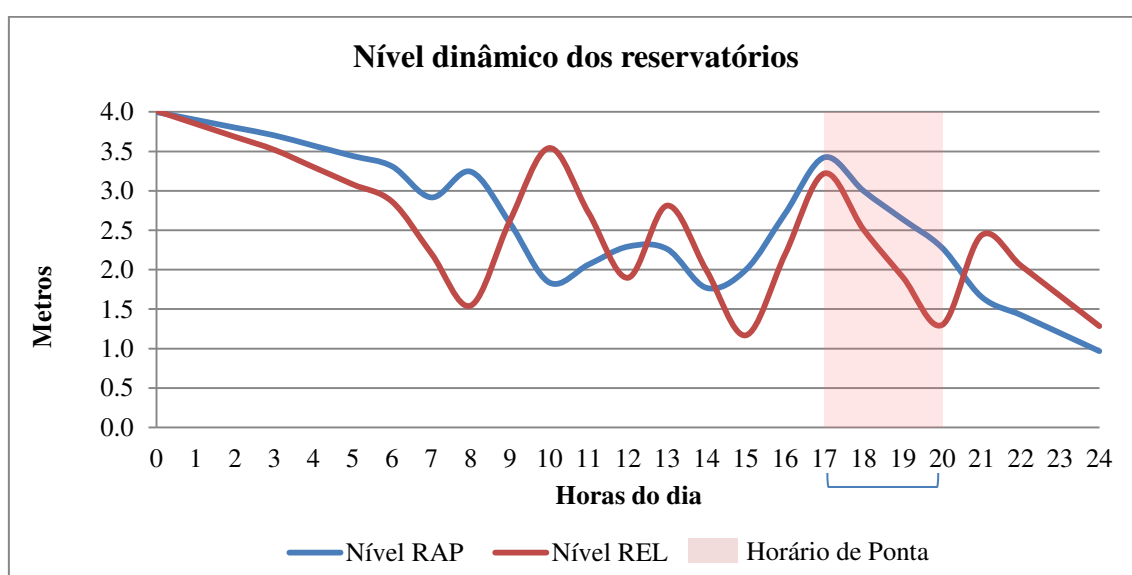


Figura 36 – Resposta do nível dinâmico dos reservatórios à alternativa 1 com nível intermediário às 00:00h

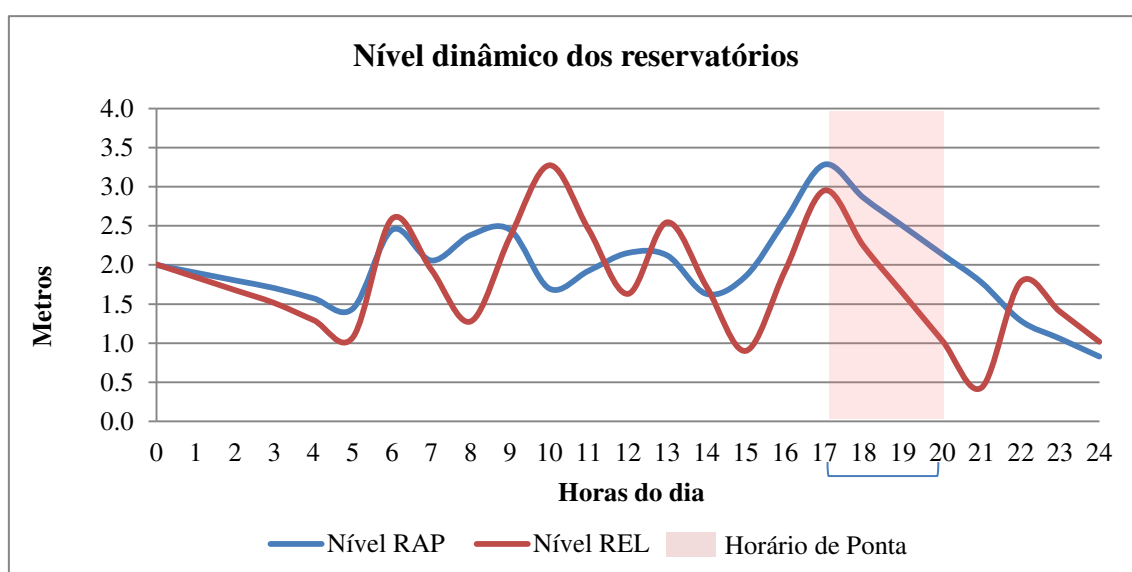
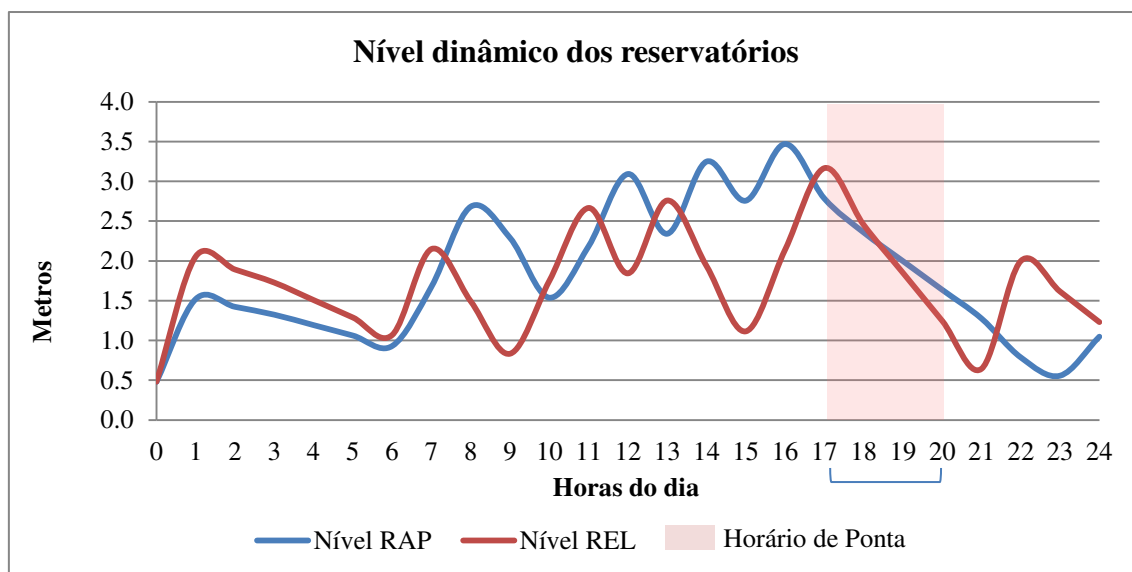


Figura 37 – Resposta do nível dinâmico dos reservatórios à alternativa 1 com nível mínimo às 00:00h



Observou-se que para as duas alternativas, o modelo de otimização proposto pelo AG fez com que o nível de água acumulado nos reservatórios atingissem seu pico máximo próximo das 17:00 horas, sendo suficiente para atender a demanda por um período superior a três horas de abastecimento e assim permitindo o desligamento dos motores no horário de ponta que se estende até às 20:00 horas. Dessa forma houve uma redução nos custos de bombeamento já que foi evitado o consumo de energia no intervalo de tempo onde a tarifa é mais elevada.

Entretanto, na resolução do modelo de otimização, o emprego de intervalo de cálculos hidráulicos de 1 hora provocou limitações, não permitindo o melhor ajuste das soluções às condições e objetivos hidráulicos do sistema e no gerenciamento dos níveis dos reservatórios. Isso se verifica pela não utilização do volume útil dos reservatórios em sua totalidade, estabilizando em torno de 80%.

4.4. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS ALTERNATIVAS DE OTIMIZAÇÃO COM VISTAS À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.

A avaliação desempenho das alternativas 1 e 2, foi restrita aos cenários mais críticos de ambas, sendo este relacionado as simulações onde o nível dos reservatórios iniciaram com nível mínimo, pois esta situação representou uma situação extrema do sistema e mais crítica. Nesse caso vimos que os resultados obtidos pelo AG resultou numa maior quantidade de horas de bombeamento, ou seja, para recuperação dos níveis dos reservatórios e também para possibilitar sua operação fora do horário de ponta, as

EE1 e EE2 permaneceram acionados durante um maior período do dia em detrimento das outras condições iniciais de simulação. A Tabela 22 apresenta os resultados dos volumes bombeados, níveis dinâmicos dos reservatórios e custos de bombeamento, a partir do acúmulo de horas de funcionamento dos conjuntos motobomba.

Tabela 22 – Comparativo dos resultados obtidos entre o cenário atual e as alternativas de otimização.

	Volume aduzido (m3/ano)	Custo Demanda Fora de Ponta (R\$/ano)	Custo Demanda na Ponta (R\$/ano)	Custo Fora de Ponta (R\$/ano)	Custo Ponta (R\$/ano)	Custo Total (R\$/ano)
Cenário Atual	1.289.362,5	32.014,0	97.574,4	183.753,03	51.243,8	364.585,31
Alternativa. 1	1.292.100,0	32.014,0	-	216.810,00	-	229.873,00
Alternativa. 2	894.250,0	22.295,5	-	87687,60	-	109.983,10

A alternativa 1 apresentou uma redução de 32% nos custos totais de bombeamento em relação ao cenário atual, considerando apenas a adoção das rotinas operacionais otimizadas pelo algoritmo genético. Já a alternativa 2 apresentou uma redução de 52% nos custos totais de bombeamento em relação ao cenário atual. O ótimo resultado da segunda alternativa está sujeita a aplicação de ações adicionais de melhoramento da infraestrutura da elevatória, como a substituição dos conjuntos motobomba por equipamentos novos e mais eficientes com consequente redução substancial da potência instalada e de demanda.

A Tabela 23 apresenta os indicadores CEE e CEN para o cenário atual e para as alternativas de efficientização.

Tabela 23 – consumos específicos, normatizados e estimativa de consumo anual de energia elétrica

	Consumo anual de energia elétrica (kWh/ano)	Consumo específico de energia elétrica (kWh/m ³ bombeado) CEE Médio	Consumo específico normalizado (kWh/m ³ a 100m de elevação) CEN Médio
Cenário Atual	975.595,36 kWh/ano	0,757 kWh/m ³	1,261 kWh/m ³
Alternativa. 1	899.360,00 kWh/ano	0,696 kWh/m ³	1,160 kWh/m ³
Alternativa. 2	398580,707 kWh/ano	0,446 kWh/m ³	0,743 kWh/m ³

A Tabela 23 demonstra os resultados dos cálculos dos indicadores de eficiência CEE e CEN para o cenário atual assim como para as alternativas 1 e 2 sendo possível observar uma evolução progressiva de efficientização.

No “cenário atual” do sistema de bombeamento, os indicadores se apresentaram nitidamente mais elevados em relação as alternativas apresentadas. Esse resultado demonstra o significativo potencial para efficientização do sistema.

Apesar do maior volume de água aduzido na Alternativa 1, os indicadores CEE e CEN foram ligeiramente melhores do que os referentes ao cenário atual. Isso se deu pelo fato de que as intervenções nas rotinas operacionais foram capazes de eliminar a necessidade de bombeamento no horário de ponta, reduzindo os custos de bombeamento.

A alternativa 2 apresentou índices ainda mais satisfatórios. Nesse caso a significativa redução dos índices ficou a critério das intervenções conjuntas tanto em alterações nas rotinas operacionais também reduzindo os custos de bombeamento mas também pela substituição dos conjuntos motobomba por equipamentos melhor dimensionados e mais eficientes.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho de dissertação foi norteado pela busca de efficientização de um sistema de abastecimento de água real no que se refere à redução dos custos de bombeamento e de perdas de água. A metodologia se deu pela aplicação de duas ferramentas distintas, sendo a primeira a realização de um diagnóstico hidroenergético completo cujos resultados apresentados foram suficientes para traçar um panorama geral do sistema, identificar problemas físico-estruturais, de dimensionamento e, sobretudo operacionais. Os resultados obtidos a partir desse diagnóstico serviram como subsídio e base para a construção da segunda ferramenta aplicada a qual se trata da aplicação de Algoritmos Genéticos a um modelo matemático de otimização, cujas equações se fizeram representativas da dinâmica física do sistema real.

O diagnostico evidenciou diversos problemas estruturais e operacionais do sistema, como válvulas de proteção defeituosas, baixa eficiência e dimensionamento inadequado dos conjuntos motobomba, operação com válvulas estranguladas, presença de ar na tubulação de recalque originada pela cavitação após as válvulas estranguladas. As medições de volume bombeado durante sete dias demonstrou uma alta demanda per capita na ordem de 339,7 L/hab.dia e um índice de perdas de água estimada 561.374 m³/ano e de energia na ordem de 534.989,42 kW/ano. O trabalho de investigação também constatou ineficiência nas rotinas operacionais e na gestão dos níveis dos reservatórios fazendo com que seja constantemente o funcionamento de motores no horário de ponta, ou seja, no intervalo do dia onde o custo tarifário da energia elétrica é mais caro. O gerenciamento dos níveis dinâmicos dos reservatórios também não se mostrou satisfatório, uma vez que em alguns dias houve momentos de colapso e desabastecimento de água na Zona Alta ocasionada pelo esvaziamento do reservatório elevado.

O modelo de otimização proposto se constituiu na determinação de uma equação geral baseada em função dos custos de bombeamento considerando as diferentes tarifas aplicadas pela concessionária de energia elétrica ao longo do dia, denominados *horário fora de ponta*, onde a tarifa é menos onerosa, e *horário de ponta*, esta mais custosa. Além dos custos, o modelo buscou estabelecer no seu equacionamento o atendimento às restrições hidráulicas do sistema real, como os volumes mínimos e máximos dos reservatórios de forma a não permitir o colapso de abastecimento assim como evitar perdas de água por extravasamento. Assim, a equação geral denominada função

objetivo, foi incrementada com termos relacionados ao atendimento das condições hidráulicas idealizadas para o sistema.

Foi aplicada ao modelo, a técnica de Algoritmos Genéticos com o objetivo de minimizar a “saída” da função, ou seja, minimizar o resultado aritmético da equação geral, minimizando assim os custos de bombeamento. O modelo de otimização foi implementado na plataforma do *software* MatLab®, e a partir da toolbox Optimization Tool foi aplicada a técnica de Algoritmos Genéticos para minimização da equação objetivo. Assim o Algoritmo Genético encontrou uma rotina operacional de acionamento de conjuntos motobomba que atende os objetivos de redução de custos e atendimento as restrições hidráulicas do sistema.

Foram propostos e avaliados duas alternativas de otimização sendo elas, intervenção operacional pela alteração das rotinas de acionamento de conjuntos motobomba e segunda que inclui também intervenções estruturais com redução de perdas de água e consequente redução da potência instalada e a substituição dos conjuntos.

Em ambas as Alternativas, as rotinas operacionais propostas pelo algoritmo genético possibilitou o não funcionamento dos motores no horário de ponta, evitando a tarifação mais onerosa para o sistema. Nos dois casos as condições e objetivos hidráulicos dos reservatórios ao longo de 24 horas de operação foram atendidos.

Na Alternativa 1, onde a intervenção de deu apenas na operação do sistema, houve um aumento na vazão bombeada em relação ao cenário atual de funcionamento o que evitou o desabastecimento das Zonas Alta e Baixa. Ao sair do horário de ponta foi possível atingir uma redução de 36% nos custos de bombeamento.

Na Alternativa 2, que considerou uma redução de 70% nas perdas de água, e consequente redução na vazão aduzida na ordem de 395.112,5 m³/ano, que possibilitou e a substituição dos conjuntos motobomba por equipamentos de potência e mais eficientes, os resultados foram ainda mais significativos. Houve uma redução nos volumes bombeados na ordem de 30% e no tocante aos custos de bombeamento a redução foi de 69%.

Analisando os resultados gerais da pesquisa, a metodologia empregada foi bastante eficiente e satisfatória.

Ao estabelecer cálculos hidráulicos para intervalos de 1 hora, ou seja, atualização das grandezas hidráulicas calculadas a cada hora simulada causou limitações ao algoritmo na busca por soluções. Essa situação trouxe inflexibilidade nas rotinas de

acionamento e desligamento dos CMB que ficaram restritas a “horários fechados” como 9:00h, 10:00h, 15:00h e assim por diante, não permitindo o melhor ajuste dos objetivos hidráulicos do sistema quanto ao gerenciamento dos níveis dos reservatórios. Assim para trabalhos posteriores, sugere-se a utilização de intervalos de cálculo hidráulico menores, em torno 1/10 de hora.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. A. (2007). *Análise e métodos de otimização para eficiência energética de estações elevatórias em sistemas de abastecimentos de água*, Tese de Doutorado em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande.
- ALEGRE, H.; HIRNER, W.; BAPTISTA, J. M; PARENA, R. (2004). *Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água*. Tradução e adaptação de Patrícia Duarte, Helena Alegre e Jaime Melo Baptista. Lisboa: IWA/Lab. Nacional de Engenharia Civil/ Inst. Regulador de Águas e Resíduos.
- ALPEROVITS, E.; SHAMIR, U. (1977). *Design of Optimal Water Distribution Systems*. Water Resources Research, v. 13, p. 885-900.
- ANDRADE, M. F. (2005). *Elaboração da Grade Horária de Trabalho para Funcionários de uma Lavanderia usando Algoritmos Genéticos*. 6th Encontro de Pesquisa e 4th Encontro de Iniciação Científica, Itumbiara-GO, Novembro.
- BORGES, V. M. N. A. (2003). *Acoplamento de um modelo de previsão de demanda de água a um modelo simulador em tempo real, um estudo de caso: Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, SP, 206 p.
- BRASIL. *Decreto Federal n.º 62.724 de 17 de maio de 1968*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d62724.htm>. Acesso em: 10 novembro. 2016.
- CARRIJO, I.B (2004). *Extração de regras operacionais ótimas de sistemas de distribuição de água através de algoritmos genéticos multiobjetivo e aprendizado de máquina*. São Carlos, SP. 217p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CASTRO, M. A. H. (2004). *Uso Conjunto do AUTOCAD e do EPANET para Projeto, Simulação e Dimensionamento de Redes de Abastecimento de Água*. In: Seminário Hispano Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, 4. João Pessoa: UFPB.
- CORRIJO, I. B.; (1989). *Otimização de Redes de Distribuição de Água com Expansão: Aplicação à cidade de Goiânia*. São Carlos 239p. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, Brasil.
- CUNHA, A. A. R. (2009). *Otimização energética em tempo real da operação de sistemas de abastecimento de água*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 179p.
- FILHO, P. A. C. E POPPI, R. J. (1998). *Algoritmo Genético em Química*. Instituto de Química – Universidade Estadual de Campinas – CP 6154 – 13083-970 – SP.

GOMES, H. P. (2009a). *Sistema de Abastecimento de Água : Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias*. 3ª edição (Revisada e Ampliada). João Pessoa: UFPB, 277 p.

GOMES, H. P.; BEZERRA, S. T., OLIVEIRA, P. S.; SALVINO, M. M. (2009b). *Optimal Dimensioning Model of Water Distribution Systems*. Water SA (Online), v. 35, julho.

GOMES, H. P.; CARVALHO, P. S. O. (2012). *Manual de Sistemas de Bombeamento: Eficiência Energética*. João Pessoa: UFPB, 189 p.

GEBRIM, D. V. B. (2013). *Otimização Operacional de Sistemas de Abastecimento de Água com Objetivo de Redução de Custo de Energia Elétrica*. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM-157/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 120p.

GOLDEBERG, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Massachusetts: Addison-Wesley, Publishing Company Inc., 1989, 412 p.

HOLLAND, J. H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems*. Ann Arbor: The University of Michigan Press.

KARMEI, D., GADISH, Y. E MEYERS, S. (1968) *Design of Optimal Water Distribution Networks*. Journal of Pipeline Division, ASCE, v. 94, n 10, p. 1-10.

MCILROY, M. S. (1950). *Direct Reading Electric Analyzer for Pipeline Networks*. Journal of the American Water Works Association, v. 42, p. 347-365.

MEYER-NIEBERG, S. And BEYER, H. G. (2007). *Self-adaptation in evolutionary algorithms*. Em: Parameter Setting in Evolutionary Algorithms, v. 54, pp. 47–75. Springer.

OLAIA, A. I. S. (2012). *Gestão de Sistemas de Abastecimento de Água Através de Modelação Hidráulica*. Dissertação (Mestrado), Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

OLIVEIRA, R.; LOUCKS, D.P. (1997). *Operation rules for multireservoir systems*. Water Resources Research, v. 33, n.4, p 839-852.

ORMSBEE, L. E.; LANSEY, K. E (1994). *Optimal Control of Water Supply Pumping Systems*. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 120, n. 2, March, p.237-252.

PEDROSA F. L. (2006). *Um modelo de operação de sistemas adutores de abastecimento de água com vistas a minimização dos custos energéticos*. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba.

PEZESHK, S.; HELWEG, O.J (1996) *Adaptive Search Optimization in Reducing Pump Operating Costs*. Journal of Water Resources Planning and Management, v, 122, N° 1 Jan/Feb, p.57-63.

- QUINDRY, G., BRILL, E. D., E LIEBMAN, J. C. (1981) *Optimization of looped distribution systems*. Journal of Environmental Engineering, ASCE, v. 107, n. 4, p. 665-679.
- RIGHETTO, A. M. (2001). *Calibração de Modelo Hidráulico de Rede de Distribuição de Água*. Revista ABRH, v. 6, n. 3, p. 33-44.
- RIGHETTO, A. M. (2002). *Operação ótima de sistema urbano de distribuição de água*. In: Seminário – Planejamento, Projeto e Operação de Redes de Abastecimento de Água: O Estado da Arte e Questões Avançadas, João Pessoa. João Pessoa, PB.
- ROSSAMAN, L.A., (2000). *EPANET2 – Users Manual*, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- ROTHMAN, D. W.; MAYS, L.W. (2014). *Water Resources Sustainability: Development of a Multiobjective Optimization Model*. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 140, n 12.
- BEZERRA, S. T. M., (2013). *Perdas de água: tecnologias de controle* / Saulo de Tarso Marques Bezerra, Peter Batista Cheung – João Pessoa: Editora da UFPB, 220p.
- SHAMIR, U. (1974). *Optimal Design and Operation of Water Distribution Systems*. Water Resources Research, v. 10, p. 27–36.
- SILVA, B. C. H e. (2015). *Um Algoritmo Genético Com Células-Tronco Usado Na Resolução do Problema de Sequenciamento Com e Sem Restrição de Espera*. Dissertação (mestrado acadêmico), 89p. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza. Ceará.
- SOUZA, D. O. (2004). *Algoritmos Genéticos aplicados ao planejamento do transporte principal de madeira*. 2004, 184 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná; Curitiba.
- TARQUIM, A. J.; DOWDY J. (1989). *Optimal Pump Operation in Water distribution*. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, v.115, N°2, p.158-168, New York, NY, USA.
- TSUTIYA, M. T. (2001). *Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água*, ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES Seção São Paulo, São Paulo, 1ª Edição.
- VILLALBA M. J. D., Laier J. E. (2012). *Estado da arte sobre a aplicação de algoritmos genéticos para detecção de dano em estruturas*. Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural, Passo Fundo, v. 9, n. 1, jan/abr.
- ZITZLER, E.; THIELE, L. (1998). *An evolutionary algorithm for multiobjective optimization: the strength Pareto approach*. Technical Report 43. Computer Engineering and Communication Networks Laboratory. Zürich, Switzerland: Swiss Federal Institute of Technology.

APÊNDICE A

Biblioteca de Códigos de Programação no *Software* Matlab R2016a para Resolução do
Modelo Proposto

```

>>function [saida] = geneticok(valores)

%17/08/2017
%-----CONSTANTES DIVERSAS-----%

Hm1 = 67.0;           % Corresponde a altura manométrica da Elevatória
1 que abastece o RAP (metros);
Hm2 = 14.0;           % Corresponde a altura manométrica da Elevatória
2 que abastece o REL (metros);

Rend1 = 0.48;         % Rendimento dos CMB da EE1;
Rend2 = 0.60;         % Rendimento dos CMB da EE2;

Rend1B = 0.65;        % Alternativa 2 (substituição dos CMB EE1)

Tu = 0.22;            % Tarifa de energia "FORA do horário de ponta"
(R$/kWh);
Tup = 10.34;          % Ainda não inserido nos calculos!!! Tarifa de
energia "DENTRO do horário de ponta" (R$/kWh);

saida = 0;            % Valor inicial de partida da função objetivo
geral (a variável "saida" será minimizada pelo algoritmo genético);

Q1 = 0;
Q2 = 0;

Dem1 = 0;
Dem2 = 0;
Dem1B = 0;
Dem2B = 0;

vetorRAP = [0];
vetorREL = [0];
%----- RESERVATÓRIO APOIADO -----%

VminRAP = 120;        % volume mínimo do RAP (m3);
VmaxRAP = 950;        % volume máximo do RAP (m3);
ViniRAP = 120;        % volume inicial do RAP (m3);
VolRAP = ViniRAP;     % volume de partida que será atualizado (m3);

%----- RESERVATÓRIO ELEVADO -----%

VminREL = 40;         % volume mínimo do REL (m3);
VmaxREL = 140;        % volume máximo do REL (m3);
ViniREL = 140;        % volume inicial do REL (m3);
VolREL = ViniREL;     % volume de partida que será atualizado;

%----- ALT 1 DEMANDAS -----%

DemMedial = 117.7;    % Demanda média da Zona Baixa abastecida pelo
RAP (80%) (m3/h);

```

```

DemMedia2 = 29.4;          % Demanda média da Zona Alta abastecida pelo
REL (20%) (m3/h);

%----- ALT 2 DEMANDAS -----%

DemMedia1B = 82;          % Demanda média da Zona Baixa abastecida pelo
RAP (80%) (m3/h) ALTERNATIVA 2;
DemMedia2B = 20.5;        % Demanda média da Zona Alta abastecida pelo
REL (20%) (m3/h) ALTERNATIVA 2;

Fator = [0.3 0.3 0.3 0.4 0.4 0.4 1.2 1.2 1.2 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5
1.3 1.3 1.3 1.1 1.1 1.1 0.7 0.7 0.7]; % Padrão de demanda para 24h;

%----- PESOS -----%

PA = 10;                  % Peso relacionado a parcela dos custos de Elevatória
1;
PB = 1;                   % Peso relacionado a parcela dos custos do Elevatória
2;

P1 = 1;                   % Peso relacionado a parcela OBJETIVO de VolRAP às
17h;
P2 = 10;                  % Peso relacionado a parcela OBJETIVO de VolREL às
17h;

P3 = 25;                  % Peso relacionado a parcela RESTRIÇÃO de
VolRAP>Dem1;
P4 = 400;                 % Peso relacionado a parcela RESTRIÇÃO de
VolREL>Dem2;

P5 = 9999;                % Peso relacionado a parcela restrições de Volume min
RAP;
P6 = 9999;                % Peso relacionado a parcela restrições de Volume min
REL;

P7 = 9999;                % Peso relacionado a parcela restrições de Volume max
RAP;
P8 = 9999;                % Peso relacionado a parcela restrições de Volume max
REL;

%----- BOMBAS -----
-%
for h = 0:23

    % Considerando 6 CMB:

    bombasRAP = valores(1 + h*6) + valores(2 + h*6) + valores(3 + h*6);
    bombasREL = valores(4 + h*6) + valores(5 + h*6) + valores(6 + h*6);

%--- ALT 1 ATUALIZAÇÃO DOS VOLUMES ACUMULADOS NOS RESERVATÓRIOS -----%

    VolRAP = VolRAP+((Q1-Q2)*3600)-Dem1;          % Balanço de volume
no RAP (m3);
    VolREL = VolREL+(Q2*3600)-Dem2;              % Balanço de volume
no REL (m3);

```

```

%---- ALT 2 ATUALIZAÇÃO DOS VOLUMES ACUMULADOS NOS RESERVATÓRIOS ----
-%

    VolRAP = VolRAP+((Q1-Q2)*3600)-Dem1B;          % Balanço de volume
no RAP (m3);
    VolREL = VolREL+(Q2*3600)-Dem2B;              % Balanço de volume
no REL (m3);

%----- CONVERSÃO DOS VOLUMES EM NÍVEL NOS RESERVATÓRIOS -----
-%

    NivRAP = 0.004*VolRAP;                        % Calcula o Nível do
RAP (metros)
    NivREL = 0.0267*VolREL + 0.0001;              % Calcula o Nível do
REL (metros)

    vetorRAP = [vetorRAP;NivRAP];
    vetorREL = [vetorREL;NivREL];

%----- RESTRIÇÕES HIDRÁULICAS -----%

% O objetivo dessas regras é garantir que:

% O volume acumulado nos reservatórios no instante "h" será sempre
maior que a demanda nesse mesmo instante;

    if (Dem1 > VolRAP)
        saida = saida + (((Dem1 - VolRAP)/3600)^2)*P3;
    end

    if (Dem2 > VolREL)
        saida = saida + (((Dem2 - VolREL)/3600)^2)*P4;
    end

% O objetivo dessas regras é garantir que:

% O volume acumulado nos reservatórios fiquem dentro dos limites de
% volume mínimo e máximo evitando colapso e transbordamentos;

    if (VolRAP < VminRAP)
        saida = saida + ((VminRAP - VolRAP)^4)*P5;
    end

    if (VolREL < VminREL)
        saida = saida + ((VminREL - VolREL)^4)*P6;
    end

    if (VolRAP > VmaxRAP)
        saida = saida + ((VmaxRAP - VolRAP)^4)*P7;
    end

    if (VolREL > VmaxREL)
        saida = saida + ((VmaxREL - VolREL)^4)*P8;
    end

```



```

%----- ALT 1 EE1 para o RAP -----
-%
    if (bombasETA == 3)
        Q1 = 0.125; % (m3/s)
    elseif (bombasETA == 2)
        Q1 = 0.083; % (m3/s)
    elseif (bombasETA == 1)
        Q1 = 0.047; % (m3/s)
    else
        Q1 = 0; % (m3/s)
    end

%----- ALT 2 EE1 para o RAP -----
-%
    if (bombasETA == 3)
        Q1 = 0.125; % (m3/s)
    elseif (bombasETA == 2)
        Q1 = 0.09722; % (m3/s)
    elseif (bombasETA == 1)
        Q1 = 0.05; % (m3/s)
    else
        Q1 = 0; % (m3/s)
    end

%----- EE2 para o REL -----
-%
    if (bombasREL == 3)
        Q2 = 0.04; % (m3/s)
    elseif (bombasREL == 2)
        Q2 = 0.0306; % (m3/s)
    elseif (bombasREL == 1)
        Q2 = 0.01805; % (m3/s)
    else
        Q2 = 0; % (m3/s)
    end

%----- ALT 1 ATUALIZAÇÃO DAS DEMANDAS -----
-%
    Dem1 = DemMedial*Fator(1+h); % Demanda para a hora
    específica h na Zona Baixa (m3/h);
    Dem2 = DemMedia2*Fator(1+h); % Demanda para a hora
    específica h na Zona Alta (m3/h);

%----- ALT 2 ATUALIZAÇÃO DAS DEMANDAS -----
-%
    Dem1B = DemMedialB*Fator(1+h); % Demanda para a hora
    específica h na Zona Baixa (m3/h);
    Dem2B = DemMedia2B*Fator(1+h); % Demanda para a hora
    específica h na Zona Alta (m3/h);

%----- ALT 1 FUNÇÃO OBJETIVO DOS CUSTOS-----%
    if (h >= 17) && (h <= 19)
        saida = saida + (9.81*Q1*Hm1*Tup/Rend1)*PA +
        (9.81*Q2*Hm2*Tup/Rend2)*PB;
    else
        saida = saida + (9.81*Q1*Hm1*Tu/Rend1)*PA +
        (9.81*Q2*Hm2*Tu/Rend2)*PB; % Somatória dos custos de bombeamento das
        duas Elevatórias considerando os pesos PA e PB;
    end

```

```

%----- ALT 2 FUNÇÃO OBJETIVO DOS CUSTOS-----
-%

    if (h >= 17) && (h <= 19)
        saida = saida + (9.81*Q1*Hm1*Tup/Rend1B)*PA +
(9.81*Q2*Hm2*Tup/Rend2)*PB; % Custos no horário de Ponta
    else
        saida = saida + (9.81*Q1*Hm1*Tu/Rend1B)*PA +
(9.81*Q2*Hm2*Tu/Rend2)*PB; % Custos no horário F. de Ponta
    end

%----- OBJETIVOS HIDRÁULICOS -----
-%

% O objetivo dessas regras é garantir que às 17:00h (horário de ponta)
os
% reservatórios estejam com volume suficiente para atender a demanda
até o
% fim do horário de ponta às 20:00h;

    if (VolRAP < VmaxRAP*0.85) && (h == 17)
        saida = saida + (((VmaxRAP*0.85 - VolRAP)/3600)^2)*P1;
    end

    if (VolREL < VmaxREL*0.85) && (h == 17)
        saida = saida + (((VmaxREL*0.85 - VolREL)/3600)^2)*P2^2;
    end

end

end

```

APÊNDICE B

Dados Coletados a Partir das Medições de Campo por Instrumentos

COLETA DE DADOS DE VAZAO, PRESSÃO, POTENCIA ELÉTRICA E NIVEIS DE RESEVATÓRIOS NO PERÍODO DE 7 DIAS ININTERRUPTOS									
Hora	Operação			Vazão l/s	Potência kw	Pressão recalque mca	Horas Acumuladas	Nível Reservatórios	
	CMB1	CMB2	CMB3					RAP (m)	REL (m)
00:00	P	P	P	0.0077	0	56.69	03:50	2.70	2.50
00:05	P	P	P	0.0027	0	56.75			
00:10	P	P	P	0.0178	0	56.74			
00:15	P	P	P	0.0261	0	56.63			
00:20	P	P	P	0.0022	0	56.71			
00:25	P	P	P	0.0131	0	56.72			
00:30	P	P	P	0.0610	0	56.69			
00:35	P	P	P	0.0417	0	56.77			
00:40	P	P	P	0.0053	0	56.75			
00:45	P	P	P	0.0022	0	56.7			
00:50	P	P	P	0.0112	0	56.7			
00:55	P	P	P	0.0266	0	56.68			
01:00	P	P	P	0.0051	0	56.7		2.60	2.50
01:05	P	P	P	0.0067	0	56.71			
01:10	P	P	P	0.0100	0	56.75			
01:15	P	P	P	0.0108	0	56.77			
01:20	P	P	P	0.0409	0	56.74			
01:25	P	P	P	0.0311	0	56.71			
01:30	P	P	P	0.0160	0	56.73			
01:35	P	P	P	0.0236	0	56.73			
01:40	P	P	P	0.0004	0	56.66			
01:45	P	P	P	0.0463	0	56.7			
01:50	P	P	P	0.0673	0	56.68			
01:55	P	P	P	0.0189	0	56.72			
02:00	P	P	P	0.0290	0	56.75		2.10	2.50
02:05	P	P	P	0.0147	0	56.63			
02:10	P	P	P	0.0527	0	56.72			
02:15	P	P	P	0.0262	0	56.69			
02:20	P	P	P	0.0339	0	56.67			
02:25	P	P	P	0.0356	0	56.63			
02:30	P	P	P	0.0027	0	56.67			
02:35	P	P	P	0.0355	0	56.72			
02:40	P	P	P	0.0640	0	56.65			
02:45	P	P	P	0.0144	0	56.65			
02:50	P	P	P	0.0214	0	56.65			
02:55	P	P	P	0.0151	0	56.68			

03:00	P	P	P	0.0385	0	56.7		1.60	2.50
03:05	P	P	P	0.0524	0	56.75			
03:10	P	P	P	0.0388	0	56.63			
03:15	P	P	P	0.0215	0	56.72			
03:20	P	P	P	0.0099	0	56.71			
03:25	P	P	P	0.0145	0	56.74			
03:30	P	P	P	0.0476	0	56.64			
03:35	P	P	P	0.0058	0	56.7			
03:40	P	P	P	0.0119	0	56.71			
03:45	P	P	P	0.0093	0	56.67	06:15		
03:50	F	P	F	83.4680	221.83	69.36			
03:55	F	P	F	84.0914	223.54	68.6			
04:00	F	P	F	83.6534	221.18	69.56		-	-
04:05	F	P	F	83.7575	220.65	69.44			
04:10	F	P	F	83.4229	222.96	70.28			
04:15	F	P	F	83.5561	220.75	69.74			
04:20	F	P	F	84.7249	223.09	68.85			
04:25	F	P	F	84.0908	223.47	69.94			
04:30	F	P	F	83.6955	220.84	70.75			
04:35	F	P	F	84.5821	221.68	69.12			
04:40	F	P	F	83.4186	222.63	70.04			
04:45	F	P	F	83.4633	220.72	69.8			
04:50	F	P	F	84.7163	223.97	69.04			
04:55	F	P	F	82.7126	221.96	72.57			
05:00	F	P	F	83.7497	221.77	69.97		1.70	2.50
05:05	F	P	F	83.0104	219.92	72.3			
05:10	F	P	F	83.0709	222.17	72.42			
05:15	F	P	F	83.9921	221.11	69.33			
05:20	F	P	F	84.7315	223.74	68.43			
05:25	F	P	F	82.7840	222.27	71.66			
05:30	F	P	F	83.4377	220.66	71.33			
05:35	F	P	F	84.1078	221.07	70.18			
05:40	F	P	F	83.3998	222.43	70.14			
05:45	F	P	F	84.7374	222.62	69.82			
05:50	F	P	F	83.3440	221.87	71.03			
05:55	F	P	F	83.9922	223.41	68.6			
06:00	F	P	F	83.4149	221.1	69.75		2.20	2.00
06:05	F	P	F	83.1897	220.62	70.49			
06:10	F	P	F	83.0707	222.08	70.62			
06:15	F	P	F	84.2073	222.1	68.57			
06:20	F	P	F	83.6168	221.95	69.7			
06:25	F	P	F	84.2560	223.14	68.56			
06:30	F	P	F	84.4782	222.13	68.73			
06:35	F	P	F	84.1742	221.02	68.66			
06:40	F	P	F	84.0006	223.51	68.95			

06:45	F	P	F	83.6304	221.55	69.54		2.60	2.00		
06:50	F	P	F	83.1365	221.66	70.59					
06:55	F	P	F	83.6902	223.15	69.42					
07:00	F	P	F	83.9126	222.08	69.08					
07:05	F	P	F	82.9513	219.56	70.42					
07:10	F	P	F	83.8392	223.46	69.89					
07:15	F	P	F	83.1942	221.12	72.01					
07:20	F	P	F	83.1857	221.5	71.17					
07:25	F	P	F	83.7940	223.68	69.98					
07:30	F	P	F	82.7885	219.84	72.28					
07:35	F	P	F	84.6857	221.97	68.88					
07:40	F	P	F	83.5908	222.51	70.45					
07:45	F	P	F	84.4073	222.28	69.09					
07:50	F	P	F	83.7241	222.26	70.36					
07:55	F	P	F	83.6445	222.8	70.13					
08:00	F	P	F	83.9059	221.26	68.63		3.00	1.50		
08:05	F	P	F	84.0826	220.73	69.36					
08:10	F	P	F	84.2490	223.78	69.06					
08:15	F	P	F	83.6979	221.78	71.06					
08:20	F	P	F	83.4777	221.99	69.94					
08:25	F	P	F	83.5847	222.69	71.23					
08:30	F	P	F	84.0191	221.67	68.98					
08:35	F	P	F	83.6167	220.6	69.66					
08:40	F	P	F	82.9612	221.78	70.69					
08:45	F	P	F	84.3275	221.72	68.15					
08:50	F	P	F	83.9278	222.55	68.98					
08:55	F	P	F	83.5426	222.56	69.59					
09:00	F	P	F	83.9945	221.42	68.72				3.30	0.50
09:05	F	P	F	84.2229	220.75	68.87					
09:10	F	P	F	84.5855	224.17	67.97					
09:15	F	P	F	83.6677	221.26	69.32					
09:20	F	P	F	83.9727	222.51	68.84					
09:25	F	P	F	83.7111	222.97	71.03					
09:30	F	P	F	84.1057	222.07	68.97					
09:35	F	P	F	83.5825	220.49	69.82					
09:40	F	P	F	83.8453	223.45	68.9					
09:45	F	P	F	82.9192	221.02	71.57					
09:50	F	P	F	82.8444	221.44	71.97					
09:55	F	P	F	83.0594	222.24	70.97					
10:00	F	P	F	84.3350	222.12	71.26	3.50	0.00			
10:05	P	P	P	0.0061	0	66.83			06:25		
10:10	P	P	P	0.0434	0	59.46					
10:15	P	P	P	0.0187	0	58.25					
10:20	P	P	P	0.0062	0	56.47					
10:25	P	P	P	0.0134	0	55.73					

10:30	P	P	P	0.0217	0	55.71		
10:35	P	P	P	0.0665	0	55.69		
10:40	P	P	P	0.0498	0	55.75		
10:45	P	P	P	0.0018	0	55.73		
10:50	P	P	P	0.0122	0	55.77		
10:55	P	P	P	0.0336	0	55.78		
11:00	P	P	P	0.0252	0	55.81	3.10	0.00
11:05	P	P	P	0.0500	0	55.83		
11:10	P	P	P	0.0011	0	55.86		
11:15	P	P	P	0.0078	0	55.88		
11:20	P	P	P	0.0544	0	55.91		
11:25	P	P	P	0.0084	0	55.94		
11:30	P	P	P	0.0242	0	55.95		
11:35	P	P	P	0.0309	0	55.94		
11:40	P	P	P	0.0063	0	55.98		
11:45	P	P	P	0.0352	0	55.93		
11:50	P	P	P	0.0050	0	55.89		
11:55	P	P	P	0.0338	0	55.96		
12:00	P	P	P	0.0302	0	55.94	2.50	0.00
12:05	P	P	P	0.0081	0	55.9		
12:10	P	P	P	0.0223	0	55.87		
12:15	P	P	P	0.0652	0	55.9		
12:20	P	P	P	0.0145	0	55.86		
12:25	P	P	P	0.0023	0	55.81		
12:30	P	P	P	0.0125	0	55.83		
12:35	P	P	P	0.0393	0	55.8		
12:40	P	P	P	0.0404	0	55.75		
12:45	P	P	P	0.0113	0	55.74		
12:50	P	P	P	0.0366	0	55.74		
12:55	P	P	P	0.0053	0	55.69		
13:00	P	P	P	0.0631	0	55.74	1.90	0.00
13:05	P	P	P	0.0589	0	55.75		
13:10	P	P	P	0.0422	0	55.73		
13:15	P	P	P	0.0150	0	55.66		
13:20	P	P	P	0.0171	0	55.67		
13:25	P	P	P	0.0369	0	55.64		
13:30	P	P	P	0.0135	0	55.63		
13:35	P	P	P	0.0062	0	55.61		
13:40	P	P	P	0.0106	0	55.55		
13:45	P	P	P	0.0027	0	55.57		
13:50	P	P	P	0.0231	0	55.64		
13:55	P	P	P	0.0234	0	55.66		
14:00	P	P	P	0.0286	0	55.59	1.40	0.50
14:05	P	P	P	0.0170	0	55.59		
14:10	P	P	P	0.0095	0	55.65		

14:15	P	P	P	0.0608	0	55.69		0.80	1.00	
14:20	P	P	P	0.0159	0	55.72				
14:25	P	P	P	0.0280	0	55.69				
14:30	P	P	P	0.0096	0	55.69				
14:35	P	P	P	0.0004	0	55.68				
14:40	P	P	P	0.0596	0	55.61				
14:45	P	P	P	0.0288	0	55.61				
14:50	P	P	P	0.0434	0	55.66				
14:55	P	P	P	0.0113	0	55.65				
15:00	P	P	P	0.0083	0	55.64			0.40	0.00
15:05	P	P	P	0.0410	0	55.61				
15:10	P	P	P	0.0439	0	55.62				
15:15	P	P	P	0.0432	0	55.56				
15:20	P	P	P	0.0310	0	55.63				
15:25	P	P	P	0.0165	0	55.62				
15:30	P	P	P	0.0326	0	55.55				
15:35	P	P	P	0.0553	0	55.54				
15:40	P	P	P	0.0351	0	55.45				
15:45	P	P	P	0.0292	0	55.44				
15:50	P	P	P	0.0086	0	55.42				
15:55	P	P	P	0.0686	0	55.42		07:05	0.60	0.00
16:00	P	P	P	0.0157	0	55.42				
16:05	P	P	P	0.0342	0	55.43				
16:10	P	P	P	0.0085	0	55.42				
16:15	P	P	P	0.0139	0	55.41				
16:20	P	P	P	0.0669	0	55.38				
16:25	P	P	P	0.0493	0	55.38				
16:30	F	P	F	85.8978	222.63	71.18				
16:35	F	P	F	86.2016	222.15	70.55				
16:40	F	P	F	86.5054	224.42	69.91				
16:45	F	P	F	87.0637	223.81	69.28				
16:50	F	P	F	86.4420	223.62	70.31				
16:55	F	P	F	87.4420	225.25	69.33				
17:00	F	P	F	87.3042	223.93	69.82				
17:05	F	P	F	86.1893	222.16	70.01				
17:10	F	P	F	85.7478	223.56	69.72				
17:15	F	P	F	87.2733	223.65	70.23				
17:20	F	P	F	87.3815	224.78	70.05				
17:25	F	P	F	86.9272	225.23	69.56				
17:30	F	P	F	87.1009	223.44	69.59				
17:35	F	P	F	87.1386	222.66	70.08				
17:40	F	P	F	87.2468	225.05	70.29				
17:45	F	P	F	87.8329	224.19	70.36				
17:50	F	P	F	87.2947	224.4	69.29				
17:55	F	P	F	87.6257	225.58	70				

18:00	F	P	F	87.3146	224.25	69.28	1.00	0.00
18:05	F	P	F	86.1976	222.31	69.64		
18:10	F	P	F	85.7473	223.92	71.04		
18:15	F	P	F	86.2869	222.82	69.87		
18:20	F	P	F	86.4535	223.59	70.66		
18:25	F	P	F	87.0310	225.53	69.57		
18:30	F	P	F	86.5964	223.64	69.1		
18:35	F	P	F	85.7558	221.73	70.39		
18:40	F	P	F	86.2027	224.78	69.82		
18:45	F	P	F	86.1152	222.1	70.24		
18:50	F	P	F	87.6948	225.38	69.35		
18:55	F	P	F	86.8554	225.5	69.77		
19:00	F	P	F	86.2685	222.14	69.8	1.50	0.00
19:05	F	P	F	87.4861	223.22	69.25		
19:10	F	P	F	86.9676	225.51	69.2		
19:15	F	P	F	86.6943	223.66	68.8		
19:20	F	P	F	86.2976	223.78	70.03		
19:25	F	P	F	86.5042	224.45	69.27		
19:30	F	P	F	87.1168	223.76	69.76		
19:35	F	P	F	87.0408	222.87	70.57		
19:40	F	P	F	86.8098	224.55	69.55		
19:45	F	P	F	87.7346	223.96	70.02		
19:50	F	P	F	87.4997	224.85	69.49		
19:55	F	P	F	87.1299	224.77	69.86		
20:00	F	P	F	87.3632	224.35	70.37	2.00	0.00
20:05	F	P	F	85.9387	221.76	70.26		
20:10	F	P	F	86.4940	224.67	70.05		
20:15	F	P	F	86.9059	223.21	71.24		
20:20	F	P	F	87.5878	225.65	70.02		
20:25	F	P	F	85.9822	224.28	69.32		
20:30	F	P	F	86.4616	222.95	69.55		
20:35	F	P	F	87.3796	223.14	69.35		
20:40	F	P	F	87.3383	225.49	70.42		
20:45	F	P	F	87.1500	223.29	69.8		
20:50	F	P	F	87.4803	225.15	69.22		
20:55	F	P	F	86.3377	224.26	70.66		
21:00	F	P	F	86.5800	222.97	70.07	2.50	0.50
21:05	F	P	F	87.1423	222.72	69.6		
21:10	F	P	F	86.9269	224.95	68.39		
21:15	F	P	F	86.7887	223.4	69.94		
21:20	F	P	F	86.8994	224.33	69.67		
21:25	F	P	F	86.1247	223.73	70.45		
21:30	F	P	F	87.4172	224.06	70.36		
21:35	F	P	F	87.2321	223.49	69.2		
21:40	F	P	F	85.6812	223.65	69.07		

21:45	F	P	F	86.4759	222.96	70.18			
21:50	F	P	F	86.7123	224.76	70.11			
21:55	F	P	F	87.1542	223.75	69.77			
22:00	F	P	F	86.2395	221.95	69.62			
22:05	F	P	F	86.8679	225.61	69.32			
22:10	F	P	F	86.2595	222.94	70.3			
22:15	F	P	F	86.4269	223.83	69.84			
22:20	F	P	F	86.5173	224.71	69.53			
22:25	F	P	F	86.5779	223.02	69.74			
22:30	F	P	F	86.9066	223.18	69.39			
22:35	F	P	F	85.6398	223.19	70.59			
22:40	F	P	F	87.8489	224.77	69.08			
22:45	F	P	F	86.1560	223.76	69.42			
22:50	F	P	F	85.9880	224.3	69.42			
22:55	F	P	F	86.4145	222.9	70.83			
23:00	F	P	F	86.6812	222.72	70.32			
23:05	F	P	F	86.2119	224.67	70.43			
23:10	F	P	F	85.9599	222.16	70.52			
23:15	F	P	F	87.2261	224.95	70.08			
23:20	F	P	F	86.6665	225	69.83			
23:25	F	P	F	86.6970	223.58	70.1			
23:30	F	P	F	85.9763	221.67	69.71			
23:35	P	P	P	0.0311	0	65.82	00:25		
23:40	P	P	P	0.0368	0	59.45			
23:45	P	P	P	0.0119	0	58.22			
23:50	P	P	P	0.0568	0	56.48			
23:55	P	P	P	0.0393	0	55.75			
00:00	P	P	P	0.0052	0	55.8	05:00	-	-
00:05	P	P	P	0.0284	0	55.76			
00:10	P	P	P	0.0146	0	55.71			
00:15	P	P	P	0.0043	0	55.75			
00:20	P	P	P	0.0098	0	55.76			
00:25	P	P	P	0.0453	0	55.71			
00:30	P	P	P	0.0185	0	55.64			
00:35	P	P	P	0.0023	0	55.64			
00:40	P	P	P	0.0260	0	55.61			
00:45	P	P	P	0.0670	0	55.56			
00:50	P	P	P	0.0409	0	55.48			
00:55	P	P	P	0.0197	0	55.45			
01:00	P	P	P	0.0130	0	55.49			
01:05	P	P	P	0.0296	0	55.52			
01:10	P	P	P	0.0204	0	55.51			
01:15	P	P	P	0.0163	0	55.58			
01:20	P	P	P	0.0034	0	55.61			
01:25	P	P	P	0.0006	0	55.67			

01:30	P	P	P	0.0696	0	55.65		
01:35	P	P	P	0.0389	0	55.6		
01:40	P	P	P	0.0218	0	55.6		
01:45	P	P	P	0.0285	0	55.6		
01:50	P	P	P	0.0073	0	55.53		
01:55	P	P	P	0.0499	0	55.59		
02:00	P	P	P	0.0592	0	55.65		-
02:05	P	P	P	0.0360	0	55.58		
02:10	P	P	P	0.0169	0	55.56		
02:15	P	P	P	0.0153	0	55.62		
02:20	P	P	P	0.0362	0	55.61		
02:25	P	P	P	0.0461	0	55.57		
02:30	P	P	P	0.0528	0	55.58		
02:35	P	P	P	0.0096	0	55.62		
02:40	P	P	P	0.0076	0	55.61		
02:45	P	P	P	0.0481	0	55.68		
02:50	P	P	P	0.0424	0	55.65		
02:55	P	P	P	0.0443	0	55.71		
03:00	P	P	P	0.0068	0	55.68		2.9
03:05	P	P	P	0.0104	0	55.64		2.5
03:10	P	P	P	0.0055	0	55.62		
03:15	P	P	P	0.0652	0	55.6		
03:20	P	P	P	0.0065	0	55.54		
03:25	P	P	P	0.0310	0	55.5		
03:30	P	P	P	0.0135	0	55.44		
03:35	P	P	P	0.0571	0	55.46		
03:40	P	P	P	0.0665	0	55.43		
03:45	P	P	P	0.0049	0	55.4		
03:50	P	P	P	0.0331	0	55.45		
03:55	P	P	P	0.0078	0	55.44		
04:00	P	P	P	0.0539	0	55.5		2.6
04:05	P	P	P	0.0082	0	55.54		2.5
04:10	P	P	P	0.0350	0	55.46		
04:15	P	P	P	0.0261	0	55.44		
04:20	P	P	P	0.0089	0	55.39		
04:25	P	P	P	0.0174	0	55.46		
04:30	P	P	P	0.0681	0	55.48		
04:35	P	P	P	0.0498	0	55.52		
04:40	P	P	P	0.0340	0	55.56		
04:45	P	P	P	0.0030	0	55.51		
04:50	P	P	P	0.0032	0	55.49		
04:55	P	P	P	0.0469	0	55.49		
05:00	F	P	F	88.2146	225.24	68.39		2.3
05:05	F	P	F	89.1296	225.06	69.26	05:30	2.5
05:10	F	P	F	88.1493	224.51	68.75		

05:15	F	P	F	89.5142	227.35	69.12		
05:20	F	P	F	88.2169	223.71	67.92		
05:25	F	P	F	89.3233	224.34	69.05		
05:30	F	P	F	88.5975	226.45	68.21		
05:35	F	P	F	88.2624	224.08	68.99		
05:40	F	P	F	88.6731	225.5	68.54		
05:45	F	P	F	88.8075	226.63	68.63		
05:50	F	P	F	88.1597	223.87	68.82		
05:55	F	P	F	88.8301	224.01	69.02		
06:00	F	P	F	88.2847	225.18	68.36	2.1	2.5
06:05	F	P	F	89.3316	225.07	68.61		
06:10	F	P	F	89.1059	225.88	68.17		
06:15	F	P	F	88.8614	226.32	67.98		
06:20	F	P	F	89.0797	224.95	68.75		
06:25	F	P	F	89.2193	224.22	68.28		
06:30	F	P	F	88.6425	226.21	67.62		
06:35	F	P	F	88.4174	224.4	69.02		
06:40	F	P	F	87.9542	224.26	68.43		
06:45	F	P	F	88.5773	226.39	68.59		
06:50	F	P	F	87.9429	223.69	68.63		
06:55	F	P	F	88.4283	223.53	69.38		
07:00	F	P	F	88.1836	225.91	68.95	2.2	2
07:05	F	P	F	87.9196	223.56	68.49		
07:10	F	P	F	88.6172	225.85	69.03		
07:15	F	P	F	88.0359	225.8	68.65		
07:20	F	P	F	88.5876	223.95	69.39		
07:25	F	P	F	89.7813	224.87	68.66		
07:30	F	P	F	88.4771	226.23	67.98		
07:35	F	P	F	88.4055	224.27	68.79		
07:40	F	P	F	88.5889	225.17	68.33		
07:45	F	P	F	88.9555	226.35	68.87		
07:50	F	P	F	89.2125	225.04	68.99		
07:55	F	P	F	88.8429	223.24	68.66		
08:00	F	P	F	89.4875	227.82	68.5	2.5	1.5
08:05	F	P	F	87.5425	223.22	68.38		
08:10	F	P	F	88.8131	225.43	69.61		
08:15	F	P	F	88.9290	226.09	68.04		
08:20	F	P	F	89.0857	225.11	68.26		
08:25	F	P	F	88.3786	223.32	68.14		
08:30	F	P	F	89.3194	227.33	69.02		
08:35	F	P	F	87.5614	223.67	68.12		
08:40	F	P	F	88.1779	225.4	69.54		
08:45	F	P	F	87.7490	225.41	69.03		
08:50	F	P	F	88.3079	223.96	69.29		
08:55	F	P	F	88.6134	223.62	69.08		

09:00	F	P	F	88.7431	226.54	68.48		2.9	1.5
09:05	F	P	F	88.4052	224.2	68.85			
09:10	F	P	F	88.3318	225.3	68.92			
09:15	F	P	F	87.9382	224.89	68.57			
09:20	F	P	F	89.3707	225.44	69.51			
09:25	F	P	F	88.9910	223.39	68.35			
09:30	F	P	F	89.5288	227.44	68.54			
09:35	F	P	F	88.4239	224.06	68.43			
09:40	F	P	F	89.0385	225.58	68.92			
09:45	F	P	F	88.7993	226.59	67.89			
09:50	F	P	F	88.3258	224.26	68.48			
09:55	F	P	F	88.3801	223.39	69.22			
10:00	F	P	F	88.6020	226.3	69.11		3.3	1.5
10:05	F	P	F	88.5678	224.17	68.93			
10:10	F	P	F	89.1894	225.87	68.61			
10:15	F	P	F	88.5523	225.54	68.47			
10:20	F	P	F	89.4850	225.03	68.71			
10:25	F	P	F	89.2710	224.45	67.84			
10:30	P	P	P	0.0364	0	64.83	04:00		
10:35	P	P	P	0.0089	0	59.46			
10:40	P	P	P	0.0543	0	58.28			
10:45	P	P	P	0.0312	0	56.43			
10:50	P	P	P	0.0265	0	55.78			
10:55	P	P	P	0.0027	0	55.76			
11:00	P	P	P	0.0002	0	55.7		3.4	1.5
11:05	P	P	P	0.0586	0	55.65			
11:10	P	P	P	0.0109	0	55.6			
11:15	P	P	P	0.0022	0	55.64			
11:20	P	P	P	0.0362	0	55.67			
11:25	P	P	P	0.0105	0	55.62			
11:30	P	P	P	0.0438	0	55.58			
11:35	P	P	P	0.0164	0	55.54			
11:40	P	P	P	0.0064	0	55.51			
11:45	P	P	P	0.0007	0	55.42			
11:50	P	P	P	0.0119	0	55.45			
11:55	P	P	P	0.0425	0	55.41			
12:00	P	P	P	0.0539	0	55.43		2.9	1
12:05	P	P	P	0.0142	0	55.44			
12:10	P	P	P	0.0005	0	55.45			
12:15	P	P	P	0.0099	0	55.42			
12:20	P	P	P	0.0582	0	55.44			
12:25	P	P	P	0.0750	0	55.41			
12:30	P	P	P	0.0110	0	55.4			
12:35	P	P	P	0.0213	0	55.36			
12:40	P	P	P	0.0099	0	55.36			

12:45	P	P	P	0.0449	0	55.39		2.3	1
12:50	P	P	P	0.0496	0	55.4			
12:55	P	P	P	0.0244	0	55.35			
13:00	P	P	P	0.0077	0	55.36			
13:05	P	P	P	0.0077	0	55.36			
13:10	P	P	P	0.0086	0	55.35			
13:15	P	P	P	0.0334	0	55.36			
13:20	P	P	P	0.0260	0	55.35			
13:25	P	P	P	0.0359	0	55.39			
13:30	P	P	P	0.0094	0	55.36			
13:35	P	P	P	0.0085	0	55.38			
13:40	P	P	P	0.0148	0	55.35			
13:45	P	P	P	0.0490	0	55.36			
13:50	P	P	P	0.0317	0	55.37			
13:55	P	P	P	0.0001	0	55.32			
14:00	P	P	P	0.0342	0	55.29	04:15	1.7	1.5
14:05	P	P	P	0.0195	0	55.31			
14:10	P	P	P	0.0320	0	55.24			
14:15	P	P	P	0.0140	0	55.23			
14:20	P	P	P	0.0151	0	55.26			
14:25	P	P	P	0.0414	0	55.26			
14:30	F	P	F	88.7592	227	68.73			
14:35	F	P	F	87.7272	223.48	68.72			
14:40	F	P	F	88.4003	225.19	68.93			
14:45	F	P	F	88.4767	225.58	69.12			
14:50	F	P	F	89.5272	225.07	68.45			
14:55	F	P	F	89.2489	224.3	68.1			
15:00	F	P	F	88.5012	225.69	67.84		1.5	2
15:05	F	P	F	89.0620	224.98	69.03			
15:10	F	P	F	88.5577	225.31	68.55			
15:15	F	P	F	88.4145	225.74	68.77			
15:20	F	P	F	88.9858	224.69	68.93			
15:25	F	P	F	88.8999	224.03	68.35			
15:30	F	P	F	88.5022	226.36	68.18			
15:35	F	P	F	87.9803	223.45	68.57			
15:40	F	P	F	89.5251	226.43	69.18			
15:45	F	P	F	88.2895	225.6	68.08			
15:50	F	P	F	89.1241	225.32	69.17			
15:55	F	P	F	88.3375	223.17	68.12		1.9	2
16:00	F	P	F	89.0023	226.72	68.82			
16:05	F	P	F	88.0423	224	68.69			
16:10	F	P	F	88.5896	225.04	68.76			
16:15	F	P	F	88.8308	226.58	69.11			
16:20	F	P	F	88.5092	224.38	68.32			
16:25	F	P	F	88.4605	223.39	68.71			

16:30	F	P	F	88.5116	226.02	68.67			
16:35	F	P	F	88.2146	223.52	68.46			
16:40	F	P	F	89.5481	226.21	68.98			
16:45	F	P	F	88.7660	226.17	68.31			
16:50	F	P	F	88.8029	225.4	68.78			
16:55	F	P	F	87.7185	222.81	68.39			
17:00	F	P	F	88.8312	226.33	69.52		2.4	2.5
17:05	F	P	F	88.6262	224.3	68.51			
17:10	F	P	F	88.9804	225.85	69.05			
17:15	F	P	F	88.6609	226.38	68.48			
17:20	F	P	F	88.4395	224.73	68.31			
17:25	F	P	F	87.8362	222.51	68.83			
17:30	F	P	F	88.5032	226.31	69.88			
17:35	F	P	F	88.1020	224	69.02			
17:40	F	P	F	88.4817	224.82	68.67			
17:45	F	P	F	89.3576	226.99	69.28			
17:50	F	P	F	88.8747	224.64	68.41			
17:55	F	P	F	89.0429	224.49	68.71			
18:00	F	P	F	88.1897	225.92	67.99		2.9	2.5
18:05	F	P	F	88.1050	224.31	68.93			
18:10	F	P	F	87.8795	224.28	69.02			
18:15	F	P	F	88.9784	226.33	69.08			
18:20	F	P	F	88.7523	224.92	68.28			
18:25	F	P	F	88.0202	222.98	68.66			
18:30	F	P	F	88.7128	226.69	69.66			
18:35	F	P	F	87.6120	223.31	68.4			
18:40	F	P	F	88.6867	225.64	69.08			
18:45	P	P	P	0.0648	0	64.83			
18:50	P	P	P	0.0108	0	59.47			
18:55	P	P	P	0.0356	0	58.24			
19:00	P	P	P	0.0057	0	56.47		3.3	2.5
19:05	P	P	P	0.0528	0	55.72		03:25	
19:10	P	P	P	0.0657	0	55.75			
19:15	P	P	P	0.0135	0	55.77			
19:20	P	P	P	0.0099	0	55.73			
19:25	P	P	P	0.0045	0	55.69			
19:30	P	P	P	0.0175	0	55.66			
19:35	P	P	P	0.0293	0	55.67			
19:40	P	P	P	0.0223	0	55.61			
19:45	P	P	P	0.0335	0	55.57			
19:50	P	P	P	0.0161	0	55.56			
19:55	P	P	P	0.0365	0	55.49			
20:00	P	P	P	0.0454	0	55.42			
20:05	P	P	P	0.0152	0	55.42			
20:10	P	P	P	0.0014	0	55.43		2.9	2.5

20:15	P	P	P	0.0011	0	55.39		2.6	2.5
20:20	P	P	P	0.0214	0	55.4			
20:25	P	P	P	0.0159	0	55.34			
20:30	P	P	P	0.0323	0	55.34			
20:35	P	P	P	0.0177	0	55.37			
20:40	P	P	P	0.0017	0	55.37			
20:45	P	P	P	0.0532	0	55.32			
20:50	P	P	P	0.0245	0	55.31			
20:55	P	P	P	0.0492	0	55.24			
21:00	P	P	P	0.0285	0	55.21			
21:05	P	P	P	0.0142	0	55.17			
21:10	P	P	P	0.0574	0	55.19			
21:15	P	P	P	0.0645	0	55.1			
21:20	P	P	P	0.0181	0	55.08			
21:25	P	P	P	0.0349	0	55.07			
21:30	P	P	P	0.0114	0	55.01			
21:35	P	P	P	0.0126	0	54.96			
21:40	P	P	P	0.0549	0	54.9			
21:45	P	P	P	0.0455	0	54.93			
21:50	P	P	P	0.0328	0	54.95			
21:55	P	P	P	0.0126	0	54.92			
22:00	P	P	P	0.0198	0	54.85	01:50	2	2.5
22:05	P	P	P	0.0029	0	54.84			
22:10	F	P	F	87.7623	225.44	68.78			
22:15	F	P	F	88.1474	223.61	69.32			
22:20	F	P	F	88.8674	223.69	69.47			
22:25	F	P	F	89.3752	227.23	68.86			
22:30	F	P	F	88.1704	223.84	68.09			
22:35	F	P	F	88.9157	225.7	68.74			
22:40	F	P	F	88.1900	225.85	67.96			
22:45	F	P	F	88.1597	224.33	69.22			
22:50	F	P	F	88.2139	223.13	68.69			
22:55	F	P	F	88.5903	226.02	68.93			
23:00	F	P	F	88.6542	224.17	68.76			
23:05	F	P	F	89.3558	225.86	69.01			
23:10	F	P	F	89.0454	226.68	68.5			
23:15	F	P	F	88.6562	224.37	68.88			
23:20	F	P	F	88.8396	223.88	68.85			
23:25	F	P	F	88.9013	226.18	68.81			
23:30	F	P	F	88.8534	224.59	68.64			
23:35	F	P	F	88.7295	225.54	68.45			
23:40	F	P	F	88.6008	226.18	68.78			
23:45	F	P	F	88.5255	223.71	68.33			
23:50	F	P	F	89.5681	224.4	68.65			
23:55	F	P	F	88.9479	226.73	67.74			

00:00	F	P	F	87.8039	224.54	70.54	01:00	2.6	2.5
00:05	F	P	F	87.2694	225.25	70.06			
00:10	F	P	F	85.7391	224.28	68.99			
00:15	F	P	F	85.7024	221.93	70.01			
00:20	F	P	F	87.2597	225.85	70.21			
00:25	F	P	F	86.1927	222.57	69.26			
00:30	F	P	F	86.7993	222.89	69.65			
00:35	F	P	F	85.8337	223.63	69.67			
00:40	F	P	F	87.0160	223.49	70.16			
00:45	F	P	F	86.8896	224.62	69.33			
00:50	F	P	F	86.3388	224.01	69.44			
00:55	F	P	F	87.1432	224.28	70.27			
01:00	P	P	P	0.0426	0	66.9	05:40	3.3	2.5
01:05	P	P	P	0.0297	0	59.39			
01:10	P	P	P	0.0269	0	58.21			
01:15	P	P	P	0.0101	0	56.44			
01:20	P	P	P	0.0085	0	55.79			
01:25	P	P	P	0.0699	0	55.72			
01:30	P	P	P	0.0511	0	55.62			
01:35	P	P	P	0.0215	0	55.51			
01:40	P	P	P	0.0116	0	55.42			
01:45	P	P	P	0.0410	0	55.35			
01:50	P	P	P	0.0662	0	55.29			
01:55	P	P	P	0.0253	0	55.23			
02:00	P	P	P	0.0330	0	55.09		3.2	2.5
02:05	P	P	P	0.0079	0	54.97			
02:10	P	P	P	0.0594	0	54.87			
02:15	P	P	P	0.0012	0	54.77			
02:20	P	P	P	0.0383	0	54.69			
02:25	P	P	P	0.0159	0	54.63			
02:30	P	P	P	0.0151	0	54.59			
02:35	P	P	P	0.0198	0	54.51			
02:40	P	P	P	0.0699	0	54.47			
02:45	P	P	P	0.0110	0	54.36			
02:50	P	P	P	0.0272	0	54.31		2.9	2.5
02:55	P	P	P	0.0079	0	54.21			
03:00	P	P	P	0.0022	0	54.07			
03:05	P	P	P	0.0533	0	54			
03:10	P	P	P	0.0009	0	53.9			
03:15	P	P	P	0.0025	0	53.8			
03:20	P	P	P	0.0068	0	53.71			
03:25	P	P	P	0.0680	0	53.67			
03:30	P	P	P	0.0426	0	53.62			
03:35	P	P	P	0.0425	0	53.54			
03:40	P	P	P	0.0369	0	53.44			

03:45	P	P	P	0.0117	0	53.31			
03:50	P	P	P	0.0215	0	53.22			
03:55	P	P	P	0.0588	0	53.18			
04:00	P	P	P	0.0463	0	53.12			
04:05	P	P	P	0.0092	0	53			
04:10	P	P	P	0.0130	0	52.87			
04:15	P	P	P	0.0673	0	52.77			
04:20	P	P	P	0.0733	0	52.71			
04:25	P	P	P	0.0245	0	52.6			
04:30	P	P	P	0.0370	0	52.59			
04:35	P	P	P	0.0126	0	52.56			
04:40	P	P	P	0.0279	0	52.49			
04:45	P	P	P	0.0324	0	52.42			
04:50	P	P	P	0.0516	0	52.38			
04:55	P	P	P	0.0151	0	52.3			
05:00	P	P	P	0.0130	0	52.2			
05:05	P	P	P	0.0496	0	52.11			
05:10	P	P	P	0.0753	0	52.08			
05:15	P	P	P	0.0134	0	52.02			
05:20	P	P	P	0.0322	0	51.96			
05:25	P	P	P	0.0058	0	51.87			
05:30	P	P	P	0.0249	0	51.77			
05:35	P	P	P	0.0367	0	51.71			
05:40	P	P	P	0.0354	0	51.63			
05:45	P	P	P	0.0098	0	51.55			
05:50	P	P	P	0.0120	0	51.41			
05:55	P	P	P	0.0244	0	51.35			
06:00	P	P	P	0.0011	0	51.33	02:30	1.6	2
06:05	P	P	P	0.0357	0	51.2			
06:10	P	P	P	0.0167	0	51.07			
06:15	P	P	P	0.0152	0	51.01			
06:20	P	P	P	0.0153	0	50.91			
06:25	P	P	P	0.0541	0	50.83			
06:30	P	P	P	0.0116	0	50.76			
06:35	P	P	P	0.0292	0	50.68			
06:40	F	P	F	87.2854	224.45	69.99			
06:45	F	P	F	87.3892	226.16	69.57			
06:50	F	P	F	86.0197	223.01	69.15			
06:55	F	P	F	85.9682	221.8	70.05			
07:00	F	P	F	86.3149	225.1	70.16			
07:05	F	P	F	86.0176	222.51	70.09			
07:10	F	P	F	86.7359	224.56	70.02			
07:15	F	P	F	86.0083	223.56	69.72			
07:20	F	P	F	87.3422	223.23	70.2			
07:25	F	P	F	87.9170	223.48	68.69			

07:30	F	P	F	87.2805	225.51	68.44			
07:35	F	P	F	86.8425	223.35	69.18			
07:40	F	P	F	87.0535	224.4	69.17			
07:45	F	P	F	86.7293	224.96	69.12			
07:50	F	P	F	86.8529	223.55	70.16			
07:55	F	P	F	86.9397	222.84	69.96			
08:00	F	P	F	86.7512	224.55	69.37			
08:05	F	P	F	86.7513	222.96	69.8			
08:10	F	P	F	87.3194	224.86	69.86			
08:15	F	P	F	86.4107	225.11	68.81			
08:20	F	P	F	85.8560	222.28	70.22			
08:25	F	P	F	86.7968	222.71	70.66			
08:30	F	P	F	86.7502	224.86	69.18			
08:35	F	P	F	87.1145	224.42	69.91			
08:40	F	P	F	85.5190	222.24	69.32			
08:45	F	P	F	86.9291	225.66	70.6			
08:50	F	P	F	86.1965	222.65	69.46			
08:55	F	P	F	86.4492	222.27	69.82			
09:00	F	P	F	86.6951	224.83	69.63			
09:05	F	P	F	86.9536	222.92	69.91			
09:10	P	P	P	0.0056	0	66.8	02:30		
09:15	P	P	P	0.0499	0	61.37			
09:20	P	P	P	0.0193	0	58.24			
09:25	P	P	P	0.0220	0	56.43			
09:30	P	P	P	0.0100	0	55.72			
09:35	P	P	P	0.0002	0	55.65			
09:40	P	P	P	0.0607	0	55.53			
09:45	P	P	P	0.0658	0	55.44			
09:50	P	P	P	0.0516	0	55.38			
09:55	P	P	P	0.0221	0	55.27			
10:00	P	P	P	0.0027	0	55.23			
10:05	P	P	P	0.0693	0	55.18			
10:10	P	P	P	0.0359	0	55.12			
10:15	P	P	P	0.0330	0	55.04			
10:20	P	P	P	0.0154	0	54.93			
10:25	P	P	P	0.0073	0	54.85			
10:30	P	P	P	0.0142	0	54.75			
10:35	P	P	P	0.0712	0	54.63			
10:40	P	P	P	0.0095	0	54.51			
10:45	P	P	P	0.0143	0	54.47			
10:50	P	P	P	0.0107	0	54.35			
10:55	P	P	P	0.0620	0	54.29			
11:00	P	P	P	0.0363	0	54.24			
11:05	P	P	P	0.0385	0	54.15			
11:10	P	P	P	0.0128	0	54.09			

11:15	P	P	P	0.0086	0	53.99			
11:20	P	P	P	0.0347	0	53.94			
11:25	P	P	P	0.0002	0	53.85			
11:30	P	P	P	0.0518	0	53.81			
11:35	P	P	P	0.0178	0	53.74			
11:40	F	P	F	87.3604	225.75	69.4			
11:45	F	P	F	86.5434	222.85	69.33			
11:50	F	P	F	86.7343	223.9	69.9			
11:55	F	P	F	87.6974	226.08	69.84			
12:00	F	P	F	86.3721	222.7	69.2		2.2	0
12:05	F	P	F	87.3648	223.32	69.49			
12:10	F	P	F	86.4857	225.01	68.75			
12:15	F	P	F	86.1100	222.81	70.34			
12:20	F	P	F	86.1282	223.09	69.8			
12:25	F	P	F	86.7013	224.82	70.47			
12:30	F	P	F	87.3010	223.69	70.24			
12:35	F	P	F	87.1101	222.74	69.26			
12:40	F	P	F	87.1863	225.61	69.31			
12:45	F	P	F	86.8247	223.82	68.7			
12:50	F	P	F	86.0431	223.13	69.6			
12:55	F	P	F	86.7484	225.68	69.8			
13:00	F	P	F	85.7145	222.32	69.84		2.4	0
13:05	F	P	F	86.4632	224.08	70.26			
13:10	F	P	F	86.4816	225.06	69.62			
13:15	F	P	F	85.9426	222.25	70.12			
13:20	F	P	F	86.6287	222.59	69.87			
13:25	F	P	F	86.6832	224.56	69.41			
13:30	F	P	F	87.0586	223.58	69.27			
13:35	F	P	F	86.9423	223.83	69.47			
13:40	F	P	F	87.8141	226.68	69.61			
13:45	F	P	F	85.9983	222.42	69.11			
13:50	F	P	F	87.0210	222.44	70.27			
13:55	F	P	F	87.0426	225.67	69.17			
14:00	F	P	F	85.8011	221.85	69.39		2.8	0
14:05	F	P	F	87.5578	225.05	70.39			
14:10	F	P	F	86.6205	225.25	69.45			
14:15	F	P	F	85.7709	221.86	70.04			
14:20	F	P	F	87.1474	223.4	70.22			
14:25	F	P	F	86.0603	224.32	68.78			
14:30	F	P	F	86.7291	223.41	70.11			
14:35	F	P	F	86.8878	224.7	69.39			
14:40	F	P	F	86.0164	224.21	69.37			
14:45	F	P	F	86.4516	223.19	70.48			
14:50	F	P	F	86.1558	221.93	70.33			
14:55	F	P	F	86.6776	224.9	70.44			

15:00	F	P	F	86.9400	223.95	70.04		3.1	0.5
15:05	F	P	F	86.1497	223.6	69.07			
15:10	F	P	F	86.5298	224.74	70.13			
15:15	F	P	F	87.0923	223.89	69.93			
15:20	F	P	F	86.1909	222.11	69.68			
15:25	F	P	F	86.6251	224.89	70.32			
15:30	F	P	F	87.0070	223.61	69.63			
15:35	F	P	F	86.7799	224.37	69.5			
15:40	F	P	F	85.9233	224.38	69.56			
15:45	F	P	F	86.4724	223.52	70.16			
15:50	F	P	F	86.0203	221.62	69.93			
15:55	F	P	F	86.4841	224.73	70.87			
16:00	F	P	F	86.5968	223.61	69.95		3.5	1.5
16:05	F	P	F	86.1924	223.57	69.84			
16:10	P	P	P	0.0228	0	65.75			
16:15	P	P	P	0.0104	0	59.43			
16:20	P	P	P	0.0110	0	58.2			
16:25	P	P	P	0.0288	0	56.39			
16:30	P	P	P	0.0236	0	55.66			
16:35	P	P	P	0.0019	0	55.64			
16:40	P	P	P	0.0112	0	55.63			
16:45	P	P	P	0.0142	0	55.59			
16:50	P	P	P	0.0194	0	55.59			
16:55	P	P	P	0.0237	0	55.61			
17:00	P	P	P	0.0313	0	55.6	04:10	3.3	2
17:05	P	P	P	0.0141	0	55.58			
17:10	P	P	P	0.0288	0	55.57			
17:15	P	P	P	0.0090	0	55.5			
17:20	P	P	P	0.0325	0	55.49			
17:25	P	P	P	0.0259	0	55.44			
17:30	P	P	P	0.0119	0	55.41			
17:35	P	P	P	0.0462	0	55.4			
17:40	P	P	P	0.0499	0	55.39			
17:45	P	P	P	0.0038	0	55.36			
17:50	P	P	P	0.0199	0	55.33			
17:55	P	P	P	0.0157	0	55.35			
18:00	P	P	P	0.0115	0	55.37		2.9	2
18:05	P	P	P	0.0603	0	55.3			
18:10	P	P	P	0.0262	0	55.27			
18:15	P	P	P	0.0081	0	55.27			
18:20	P	P	P	0.0001	0	55.24			
18:25	P	P	P	0.0586	0	55.23			
18:30	P	P	P	0.0342	0	55.2			
18:35	P	P	P	0.0466	0	55.22			
18:40	P	P	P	0.0261	0	55.23			

18:45	P	P	P	0.0098	0	55.2			
18:50	P	P	P	0.0349	0	55.16			
18:55	P	P	P	0.0470	0	55.13			
19:00	P	P	P	0.0390	0	55.12			
19:05	P	P	P	0.0346	0	55.07			
19:10	P	P	P	0.0076	0	55.08			
19:15	P	P	P	0.0055	0	55.05			
19:20	P	P	P	0.0737	0	55.04			
19:25	P	P	P	0.0458	0	55.02			
19:30	P	P	P	0.0306	0	54.97			
19:35	P	P	P	0.0102	0	54.92			
19:40	P	P	P	0.0438	0	54.92			
19:45	P	P	P	0.0653	0	54.88			
19:50	P	P	P	0.0177	0	54.91			
19:55	P	P	P	0.0286	0	54.91			
20:00	P	P	P	0.0106	0	54.85			
20:05	P	P	P	0.0527	0	54.79			
20:10	P	P	P	0.0276	0	54.76			
20:15	P	P	P	0.0344	0	54.75			
20:20	F	P	F	86.6135	221.75	69.42	03:40		
20:25	F	P	F	87.4933	225.57	69.7			
20:30	F	P	F	86.9227	223.64	69.4			
20:35	F	P	F	86.4353	224.09	69.31			
20:40	F	P	F	86.0643	224.19	69.46			
20:45	F	P	F	86.1037	222.94	70.66			
20:50	F	P	F	86.1714	222.19	69.9			
20:55	F	P	F	85.9897	224.56	69.88			
21:00	F	P	F	86.1168	222.65	70.61			
21:05	F	P	F	87.1670	224.42	70.39			
21:10	F	P	F	86.9801	225.14	69.35			
21:15	F	P	F	86.6970	223.6	69.69			
21:20	F	P	F	85.9835	221.9	69.59			
21:25	F	P	F	86.7174	224.98	69.92			
21:30	F	P	F	86.2928	222.83	69.58			
21:35	F	P	F	86.8223	224.69	69.43			
21:40	F	P	F	86.1353	224.3	69.29			
21:45	F	P	F	86.4287	223.24	69.84			
21:50	F	P	F	86.2442	221.64	69.78			
21:55	F	P	F	87.0047	225.62	70.05			
22:00	F	P	F	85.8782	222.01	69.09		1.9	3
22:05	F	P	F	86.8334	224.12	70.79			
22:10	F	P	F	86.8915	224.96	70.07			
22:15	F	P	F	87.2395	223.88	69.3			
22:20	F	P	F	87.1469	222.54	69.22			
22:25	F	P	F	87.2274	225.64	69.76			

22:30	F	P	F	86.5287	222.79	68.77			
22:35	F	P	F	87.2442	225.07	69.77			
22:40	F	P	F	85.9354	224.37	69.38			
22:45	F	P	F	86.3619	222.98	70.49			
22:50	F	P	F	86.7102	222.89	69.43			
22:55	F	P	F	86.2044	223.78	70.02			
23:00	F	P	F	87.2132	223.54	69.87			
23:05	F	P	F	87.1558	224.23	69.52			
23:10	F	P	F	87.3220	225.35	69.28			
23:15	F	P	F	86.9344	223.5	69.63			
23:20	F	P	F	87.2612	223.48	69.17			
23:25	F	P	F	86.1684	224.64	68.7			
23:30	F	P	F	86.3069	222.62	69.74			
23:35	F	P	F	86.9734	224.83	69.99			
23:40	F	P	F	86.3983	224.66	69.68			
23:45	F	P	F	86.5460	223.18	70.12			
23:50	F	P	F	86.5766	222.69	70.14			
23:55	F	P	F	86.2930	224.73	69.73			
00:00	F	P	F	86.3822	221.8	69.76	00:20	3.4	2.5
00:05	F	P	F	88.5500	224.88	69.69			
00:10	F	P	F	89.2307	225.95	69.55			
00:15	F	P	F	90.1247	224.58	69.21	06:00		
00:20	P	P	P	0.0004	0	66.06			
00:25	P	P	P	0.0217	0	59.39			
00:30	P	P	P	0.0337	0	58.23			
00:35	P	P	P	0.0132	0	56.42			
00:40	P	P	P	0.0574	0	56.09			
00:45	P	P	P	0.0030	0	56.12			
00:50	P	P	P	0.0475	0	56.15			
00:55	P	P	P	0.0250	0	56.1			
01:00	P	P	P	0.0063	0	56.05			
01:05	P	P	P	0.0104	0	56			
01:10	P	P	P	0.0364	0	55.98			
01:15	P	P	P	0.0439	0	55.9			
01:20	P	P	P	0.0028	0	55.87			
01:25	P	P	P	0.0155	0	55.81			
01:30	P	P	P	0.0582	0	55.83			
01:35	P	P	P	0.0563	0	55.83			
01:40	P	P	P	0.0190	0	55.81			
01:45	P	P	P	0.0238	0	55.81			
01:50	P	P	P	0.0078	0	55.74			
01:55	P	P	P	0.0391	0	55.67			
02:00	P	P	P	0.0310	0	55.58		-	-
02:05	P	P	P	0.0379	0	55.56			
02:10	P	P	P	0.0182	0	55.58			

02:15	P	P	P	0.0139	0	55.55		
02:20	P	P	P	0.0358	0	55.56		
02:25	P	P	P	0.0750	0	55.53		
02:30	P	P	P	0.0285	0	55.43		
02:35	P	P	P	0.0007	0	55.41		
02:40	P	P	P	0.0073	0	55.41		
02:45	P	P	P	0.0298	0	55.33		
02:50	P	P	P	0.0027	0	55.33		
02:55	P	P	P	0.0280	0	55.33		
03:00	P	P	P	0.0047	0	55.3	3.5	2.5
03:05	P	P	P	0.0141	0	55.24		
03:10	P	P	P	0.0502	0	55.16		
03:15	P	P	P	0.0463	0	55.13		
03:20	P	P	P	0.0396	0	55.15		
03:25	P	P	P	0.0177	0	55.16		
03:30	P	P	P	0.0143	0	55.08		
03:35	P	P	P	0.0456	0	55.1		
03:40	P	P	P	0.0303	0	55.05		
03:45	P	P	P	0.0241	0	55.04		
03:50	P	P	P	0.0283	0	55.03		
03:55	P	P	P	0.0082	0	55		
04:00	P	P	P	0.0023	0	55.03	-	-
04:05	P	P	P	0.0549	0	54.98		
04:10	P	P	P	0.0219	0	54.97		
04:15	P	P	P	0.0334	0	54.98		
04:20	P	P	P	0.0136	0	54.91		
04:25	P	P	P	0.0339	0	54.89		
04:30	P	P	P	0.0259	0	54.84		
04:35	P	P	P	0.0194	0	54.8		
04:40	P	P	P	0.0177	0	54.75		
04:45	P	P	P	0.0143	0	54.69		
04:50	P	P	P	0.0188	0	54.63		
04:55	P	P	P	0.0542	0	54.55		
05:00	P	P	P	0.0026	0	54.51	2.7	2.5
05:05	P	P	P	0.0041	0	54.51		
05:10	P	P	P	0.0099	0	54.46		
05:15	P	P	P	0.0527	0	54.45		
05:20	P	P	P	0.0251	0	54.4		
05:25	P	P	P	0.0325	0	54.36		
05:30	P	P	P	0.0021	0	54.33		
05:35	P	P	P	0.0062	0	54.32		
05:40	P	P	P	0.0037	0	54.26		
05:45	P	P	P	0.0511	0	54.18		
05:50	P	P	P	0.0432	0	54.15		
05:55	P	P	P	0.0132	0	54.11		

06:00	P	P	P	0.0147	0	54.05		2.1	2.5
06:05	P	P	P	0.0282	0	53.98			
06:10	P	P	P	0.0432	0	54.01			
06:15	P	P	P	0.0191	0	53.96			
06:20	F	P	F	89.0757	226	68.88	04:50		
06:25	F	P	F	90.3912	226.16	69.51			
06:30	F	P	F	89.3521	225.76	68.26			
06:35	F	P	F	89.2502	226.58	69.05			
06:40	F	P	F	89.6715	225.03	69.7			
06:45	F	P	F	89.9448	224.5	68.94			
06:50	F	P	F	90.1735	228.18	69.33			
06:55	F	P	F	88.4094	223.44	68.84			
07:00	F	P	F	89.8953	226.16	70.45		2	2
07:05	F	P	F	89.5868	226.96	68.53			
07:10	F	P	F	89.2384	225.2	68.64			
07:15	F	P	F	88.7269	223.25	69.43			
07:20	F	P	F	89.5615	227.57	69.18			
07:25	F	P	F	88.3699	224.02	68.67			
07:30	F	P	F	89.2575	225.59	69.92			
07:35	F	P	F	89.8075	226.65	69.3			
07:40	F	P	F	89.7627	225.07	68.38			
07:45	F	P	F	90.1668	224.71	69.52			
07:50	F	P	F	89.6097	227.07	68.77			
07:55	F	P	F	88.9730	224.32	69.44			
08:00	F	P	F	89.9527	226.43	68.97		2.4	2
08:05	F	P	F	89.7134	227.39	68.93			
08:10	F	P	F	88.7534	223.86	69.03			
08:15	F	P	F	89.8500	226.61	69.52			
08:20	F	P	F	90.3602	225.57	68.41			
08:25	F	P	F	90.1409	224.78	68.75			
08:30	F	P	F	89.6547	226.48	68.76			
08:35	F	P	F	90.4758	226.44	68.71			
08:40	F	P	F	88.8181	225.04	68.5			
08:45	F	P	F	89.6387	226.91	69.68			
08:50	F	P	F	89.8261	225.04	68.99			
08:55	F	P	F	90.3930	225.68	68.76			
09:00	F	P	F	88.7040	225.85	68.7		2.7	2
09:05	F	P	F	89.0890	224.46	69.71			
09:10	F	P	F	89.8035	225.96	69.54			
09:15	F	P	F	89.9684	227.44	69.15			
09:20	F	P	F	89.4441	225.08	68.98			
09:25	F	P	F	89.4354	224.32	68.93			
09:30	F	P	F	89.2045	226.28	68.94			
09:35	F	P	F	89.6692	225.27	69.44			
09:40	F	P	F	89.5415	226.56	68.98			

09:45	F	P	F	88.4367	226.08	69.06		3.1	1.5
09:50	F	P	F	88.7128	224.32	69.59			
09:55	F	P	F	89.0633	223.81	69.28			
10:00	F	P	F	89.1555	226.69	69.12			
10:05	F	P	F	88.7903	224.08	69			
10:10	F	P	F	89.5239	226.51	69.07			
10:15	F	P	F	88.4627	225.57	68.85			
10:20	F	P	F	89.1821	224.93	69.86			
10:25	F	P	F	89.1101	223.86	69.5			
10:30	F	P	F	89.4326	226.97	69.72			
10:35	F	P	F	88.7649	224.02	69.36			
10:40	F	P	F	89.6725	225.8	69.33			
10:45	F	P	F	89.6179	227.12	68.95			
10:50	F	P	F	89.0625	224.52	68.32			
10:55	F	P	F	89.6968	224.61	69.51			
11:00	F	P	F	89.5490	227.21	69.07	04:40	3.5	1.5
11:05	F	P	F	88.6700	224.16	68.96			
11:10	P	P	P	0.0426	0	59.43			
11:15	P	P	P	0.0523	0	58.28			
11:20	P	P	P	0.0063	0	57.49			
11:25	P	P	P	0.0298	0	57.1			
11:30	P	P	P	0.0065	0	56.34			
11:35	P	P	P	0.0114	0	55.75			
11:40	P	P	P	0.0524	0	55.82			
11:45	P	P	P	0.0065	0	55.79			
11:50	P	P	P	0.0065	0	55.79			
11:55	P	P	P	0.0106	0	55.78			
12:00	P	P	P	0.0056	0	55.75		3.2	1.5
12:05	P	P	P	0.0120	0	55.74			
12:10	P	P	P	0.0376	0	55.79			
12:15	P	P	P	0.0288	0	55.74			
12:20	P	P	P	0.0034	0	55.78			
12:25	P	P	P	0.0439	0	55.78			
12:30	P	P	P	0.0440	0	55.81			
12:35	P	P	P	0.0087	0	55.8			
12:40	P	P	P	0.0088	0	55.8			
12:45	P	P	P	0.0133	0	55.73			
12:50	P	P	P	0.0377	0	55.78			
12:55	P	P	P	0.0401	0	55.73			
13:00	P	P	P	0.0072	0	55.7		2.6	1.5
13:05	P	P	P	0.0028	0	55.72			
13:10	P	P	P	0.0089	0	55.72			
13:15	P	P	P	0.0391	0	55.74			
13:20	P	P	P	0.0273	0	55.69			
13:25	P	P	P	0.0411	0	55.63			

13:30	P	P	P	0.0084	0	55.66			
13:35	P	P	P	0.0008	0	55.67			
13:40	P	P	P	0.0072	0	55.69			
13:45	P	P	P	0.0211	0	55.66			
13:50	P	P	P	0.0168	0	55.65			
13:55	P	P	P	0.0185	0	55.61			
14:00	P	P	P	0.0150	0	55.6		2	2
14:05	P	P	P	0.0694	0	55.59		06:20	
14:10	P	P	P	0.0298	0	55.57			
14:15	P	P	P	0.0290	0	55.61			
14:20	P	P	P	0.0117	0	55.56			
14:25	P	P	P	0.0084	0	55.6			
14:30	P	P	P	0.0464	0	55.54			
14:35	P	P	P	0.0018	0	55.55			
14:40	P	P	P	0.0486	0	55.62			
14:45	P	P	P	0.0297	0	55.62			
14:50	P	P	P	0.0099	0	55.57			
14:55	P	P	P	0.0071	0	55.63			
15:00	P	P	P	0.0263	0	55.67		1.5	2.5
15:05	P	P	P	0.0414	0	55.76			
15:10	P	P	P	0.0150	0	55.78			
15:15	P	P	P	0.0135	0	55.8			
15:20	P	P	P	0.0354	0	55.83			
15:25	P	P	P	0.0605	0	55.88			
15:30	P	P	P	0.0210	0	55.82			
15:35	P	P	P	0.0336	0	55.78			
15:40	P	P	P	0.0096	0	55.76			
15:45	P	P	P	0.0213	0	55.74			
15:50	F	P	F	89.2811	224.05	68.6			
15:55	F	P	F	89.5177	226.9	69.3			
16:00	F	P	F	89.2918	224.55	68.77		1	2
16:05	F	P	F	90.3030	227.02	69.78			
16:10	F	P	F	89.2257	226.24	68.41			
16:15	F	P	F	89.4507	224.78	69.36			
16:20	F	P	F	89.7379	224.65	68.55			
16:25	F	P	F	89.1676	226.3	69.19			
16:30	F	P	F	89.5560	225.26	69.73			
16:35	F	P	F	89.8165	226.3	69.33			
16:40	F	P	F	89.6428	226.77	69.3			
16:45	F	P	F	89.2050	225.03	68.73			
16:50	F	P	F	88.8140	222.71	69.09			
16:55	F	P	F	90.5829	227.84	70.15			
17:00	F	P	F	89.9487	225.04	67.9		1.1	2
17:05	F	P	F	90.0764	226.1	68.77			
17:10	F	P	F	90.1778	227.54	68.33			

17:15	F	P	F	89.7457	225.47	69.05		
17:20	F	P	F	89.6431	226.83	68.59		
17:25	F	P	F	89.1589	224.85	69.16		
17:30	F	P	F	89.0393	223.97	68.78		
17:35	F	P	F	89.1962	226.32	69.64		
17:40	F	P	F	89.1923	224.76	69.22		
17:45	F	P	F	89.2672	225.14	69.42		
17:50	F	P	F	90.3839	227.5	69.24		
17:55	F	P	F	89.7613	225.55	68.47		
18:00	F	P	F	89.6992	225	68.55	1.3	2
18:05	F	P	F	88.4995	225.63	68.88		
18:10	F	P	F	89.4528	224.76	70.27		
18:15	F	P	F	90.0206	227.16	69.41		
18:20	F	P	F	88.7774	225.95	68.44		
18:25	F	P	F	89.3449	224.89	70.22		
18:30	F	P	F	89.1100	223.45	68.9		
18:35	F	P	F	89.7152	227.08	69.69		
18:40	F	P	F	89.8390	225.14	69.06		
18:45	F	P	F	89.5702	225.94	68.73		
18:50	F	P	F	89.8694	226.61	69.28		
18:55	F	P	F	90.0897	225.53	69.32		
19:00	F	P	F	89.5476	224.55	68.94	1.8	2.5
19:05	F	P	F	89.3725	227.19	69.22		
19:10	F	P	F	88.7517	224.38	68.79		
19:15	F	P	F	89.4197	225.53	69.65		
19:20	F	P	F	89.8123	227.45	68.96		
19:25	F	P	F	89.1566	224.49	68.78		
19:30	F	P	F	90.0792	224.91	69.6		
19:35	F	P	F	89.0279	226.01	69		
19:40	F	P	F	89.8324	225.61	69.34		
19:45	F	P	F	89.2045	226.2	68.33		
19:50	F	P	F	88.4882	225.45	69.43		
19:55	F	P	F	90.0250	225.39	69.98		
20:00	F	P	F	89.9905	224.37	68.97	2.3	2.5
20:05	F	P	F	89.7512	227.27	68.97		
20:10	F	P	F	89.0628	224.44	69.4		
20:15	F	P	F	89.5387	226.13	69.12		
20:20	F	P	F	88.3742	225.2	69.32		
20:25	F	P	F	89.9689	225.7	69.67		
20:30	F	P	F	89.5687	224.68	69.05		
20:35	F	P	F	88.9263	226.38	69.46		
20:40	F	P	F	88.7658	223.61	69.42		
20:45	F	P	F	90.1537	226.44	69.57		
20:50	F	P	F	89.8365	227.42	68.49		
20:55	F	P	F	88.9058	224.66	68.67		

21:00	F	P	F	89.4334	225.13	69.41		3.1	2.5
21:05	F	P	F	90.2119	227.82	68.86			
21:10	F	P	F	89.0187	224.64	68.94			
21:15	F	P	F	89.4107	223.55	69.25			
21:20	F	P	F	90.6167	227.72	68.82			
21:25	F	P	F	90.4874	226.12	68.46			
21:30	F	P	F	89.6189	226.13	67.96			
21:35	F	P	F	89.2362	225.96	69.15			
21:40	F	P	F	90.6092	226.14	69.25			
21:45	F	P	F	90.0798	225.27	68.02			
21:50	F	P	F	88.9881	226.33	68.61			
21:55	F	P	F	88.7432	223.94	69.38			
22:00	F	P	F	89.6123	226.39	69.64		3.5	2.5
22:05	F	P	F	89.3276	227.06	68.89			
22:10	P	P	P	0.0465	0	59.4			
22:15	P	P	P	0.0224	0	58.31			
22:20	P	P	P	0.0141	0	57.43			
22:25	P	P	P	0.0009	0	57.05			
22:30	P	P	P	0.0225	0	56.33			
22:35	P	P	P	0.0189	0	55.75			
22:40	P	P	P	0.0325	0	56.33			
22:45	P	P	P	0.0073	0	55.76			
22:50	P	P	P	0.0637	0	56.35			
22:55	P	P	P	0.0149	0	55.79			
23:00	P	P	P	0.0406	0	56.35	01:50	3.6	2.5
23:05	P	P	P	0.0168	0	55.84			
23:10	P	P	P	0.0032	0	56.35			
23:15	P	P	P	0.0530	0	55.86			
23:20	P	P	P	0.0095	0	56.31			
23:25	P	P	P	0.0470	0	55.78			
23:30	P	P	P	0.0003	0	56.36			
23:35	P	P	P	0.0001	0	55.76			
23:40	P	P	P	0.0289	0	56.35			
23:45	P	P	P	0.0334	0	55.73			
23:50	P	P	P	0.0413	0	56.29			
23:55	P	P	P	0.0151	0	55.78			
00:00	P	P	P	0.0124	0	56.37	06:35	3.3	2.5
00:05	P	P	P	0.0365	0	55.83			
00:10	P	P	P	0.0667	0	56.37			
00:15	P	P	P	0.0077	0	55.75			
00:20	P	P	P	0.0038	0	56.37			
00:25	P	P	P	0.0100	0	55.84			
00:30	P	P	P	0.0406	0	56.39			
00:35	P	P	P	0.0420	0	55.83			
00:40	P	P	P	0.0309	0	56.31			

00:45	P	P	P	0.0369	0	55.8		
00:50	P	P	P	0.0108	0	56.33		
00:55	P	P	P	0.0055	0	55.83		
01:00	P	P	P	0.0236	0	56.36	3	2.5
01:05	P	P	P	0.0073	0	55.85		
01:10	P	P	P	0.0175	0	56.33		
01:15	P	P	P	0.0012	0	55.85		
01:20	P	P	P	0.0684	0	56.34		
01:25	P	P	P	0.0193	0	55.88		
01:30	P	P	P	0.0016	0	56.37		
01:35	P	P	P	0.0185	0	55.88		
01:40	P	P	P	0.0010	0	56.35		
01:45	P	P	P	0.0593	0	55.81		
01:50	P	P	P	0.0589	0	56.42		
01:55	P	P	P	0.0469	0	55.79		
02:00	P	P	P	0.0002	0	56.41	2.7	2.5
02:05	P	P	P	0.0013	0	55.83		
02:10	P	P	P	0.0504	0	56.42		
02:15	P	P	P	0.0145	0	55.81		
02:20	P	P	P	0.0058	0	56.4		
02:25	P	P	P	0.0240	0	55.81		
02:30	P	P	P	0.0135	0	56.41		
02:35	P	P	P	0.0208	0	55.74		
02:40	P	P	P	0.0600	0	56.37		
02:45	P	P	P	0.0380	0	55.72		
02:50	P	P	P	0.0055	0	56.3		
02:55	P	P	P	0.0019	0	55.76		
03:00	P	P	P	0.0175	0	56.32	-	-
03:05	P	P	P	0.0648	0	55.77		
03:10	P	P	P	0.0476	0	56.29		
03:15	P	P	P	0.0231	0	55.8		
03:20	P	P	P	0.0017	0	56.32		
03:25	P	P	P	0.0318	0	55.72		
03:30	P	P	P	0.0271	0	56.35		
03:35	P	P	P	0.0130	0	55.68		
03:40	P	P	P	0.0062	0	56.38		
03:45	P	P	P	0.0008	0	55.72		
03:50	P	P	P	0.0326	0	56.38		
03:55	P	P	P	0.0294	0	55.77		
04:00	P	P	P	0.0110	0	56.4	-	-
04:05	P	P	P	0.0032	0	55.72		
04:10	P	P	P	0.0171	0	56.34		
04:15	P	P	P	0.0010	0	55.71		
04:20	P	P	P	0.0268	0	56.36		
04:25	P	P	P	0.0325	0	55.75		

04:30	P	P	P	0.0187	0	56.37					
04:35	P	P	P	0.0047	0	55.69					
04:40	P	P	P	0.0176	0	56.35					
04:45	P	P	P	0.0472	0	55.72					
04:50	P	P	P	0.0361	0	56.3					
04:55	P	P	P	0.0167	0	55.7					
05:00	P	P	P	0.0161	0	56.28				-	-
05:05	P	P	P	0.0396	0	55.64					
05:10	P	P	P	0.0676	0	56.28					
05:15	P	P	P	0.0367	0	55.63					
05:20	P	P	P	0.0270	0	56.29					
05:25	P	P	P	0.0097	0	55.71					
05:30	P	P	P	0.0460	0	56.23					
05:35	P	P	P	0.0752	0	55.69					
05:40	P	P	P	0.0377	0	56.19					
05:45	P	P	P	0.0315	0	55.69					
05:50	P	P	P	0.0082	0	56.2					
05:55	P	P	P	0.0007	0	55.65					
06:00	P	P	P	0.0546	0	56.22				1.6	2.5
06:05	P	P	P	0.0274	0	55.63					
06:10	P	P	P	0.0290	0	56.2					
06:15	P	P	P	0.0098	0	55.57					
06:20	P	P	P	0.0295	0	56.24					
06:25	P	P	P	0.0067	0	55.51					
06:30	P	P	P	0.0302	0	56.29					
06:35	F	P	F	89.5956	225.96	67.25	04:25				
06:40	F	P	F	90.8035	225.75	68.42					
06:45	F	P	F	91.1652	226.22	67.36					
06:50	F	P	F	89.6211	226.54	67.27					
06:55	F	P	F	90.5632	226.25	67.89					
07:00	F	P	F	89.9687	225.89	67.39				1.3	2.5
07:05	F	P	F	90.7402	227.87	67.45					
07:10	F	P	F	89.7866	225.35	67.3					
07:15	F	P	F	89.9318	223.97	68.19					
07:20	F	P	F	91.0476	227.61	67.39					
07:25	F	P	F	91.0188	226.59	67.42					
07:30	F	P	F	90.3820	226.24	67.41					
07:35	F	P	F	90.4688	227.39	67.59					
07:40	F	P	F	90.4418	225.93	67.51					
07:45	F	P	F	90.1299	224.69	67.41					
07:50	F	P	F	89.7156	226.95	67.94					
07:55	F	P	F	89.9149	224.73	68.27					
08:00	F	P	F	91.0723	227.38	67.56				1.7	2.5
08:05	F	P	F	90.0240	227.21	66.91					
08:10	F	P	F	89.9005	224.55	68.05					

08:15	F	P	F	90.9889	225.44	68.17			
08:20	F	P	F	90.3906	227.19	67.16			
08:25	F	P	F	90.9744	225.98	67.81			
08:30	F	P	F	91.3051	227.11	66.92			
08:35	F	P	F	90.9454	228.55	67.11			
08:40	F	P	F	89.4683	224.53	66.82			
08:45	F	P	F	90.0673	224.22	68.55			
08:50	F	P	F	90.8634	228.33	67.62			
08:55	F	P	F	89.4968	224.65	67.18			
09:00	F	P	F	89.9074	225.55	68.77		2.3	2
09:05	F	P	F	91.1833	228.62	68.43			
09:10	F	P	F	90.2305	225.13	67.26			
09:15	F	P	F	90.8978	225.29	67.6			
09:20	F	P	F	90.1159	226.87	67.2			
09:25	F	P	F	90.4194	225.96	67.8			
09:30	F	P	F	89.7727	225.23	67.99			
09:35	F	P	F	91.1583	228.2	68.3			
09:40	F	P	F	90.4895	225.57	67.06			
09:45	F	P	F	90.2448	224.49	67.51			
09:50	F	P	F	90.7509	227.9	67.8			
09:55	F	P	F	89.8164	225.46	67.24			
10:00	F	P	F	89.9941	225.66	67.87		2.8	1.5
10:05	F	P	F	90.7006	227.88	67.68			
10:10	F	P	F	90.2235	225.45	67.25			
10:15	F	P	F	90.1141	224.53	68.03			
10:20	F	P	F	90.3682	226.89	68.11			
10:25	F	P	F	90.6321	225.74	67.35			
10:30	F	P	F	90.2751	226.08	67.46			
10:35	F	P	F	90.5940	227.58	67.61			
10:40	F	P	F	90.5599	225.47	67.84			
10:45	F	P	F	91.1166	225.86	67.35			
10:50	F	P	F	89.8129	227.02	66.84			
10:55	F	P	F	89.3831	225.44	68.54			
11:00	P	P	P	0.0239	0	59.47		3.3	1
11:05	P	P	P	0.0197	0	58.3		03:20	
11:10	P	P	P	0.0152	0	57.47			
11:15	P	P	P	0.0132	0	57.01			
11:20	P	P	P	0.0199	0	56.38			
11:25	P	P	P	0.0184	0	56.46			
11:30	P	P	P	0.0311	0	56.45			
11:35	P	P	P	0.0129	0	56.47			
11:40	P	P	P	0.0133	0	56.41			
11:45	P	P	P	0.0335	0	56.4			
11:50	P	P	P	0.0759	0	56.36			
11:55	P	P	P	0.0399	0	56.34			

12:00	P	P	P	0.0359	0	56.34		3	1
12:05	P	P	P	0.0035	0	56.31			
12:10	P	P	P	0.0704	0	56.26			
12:15	P	P	P	0.0270	0	56.32			
12:20	P	P	P	0.0404	0	56.29			
12:25	P	P	P	0.0118	0	56.29			
12:30	P	P	P	0.0152	0	56.24			
12:35	P	P	P	0.0268	0	56.26			
12:40	P	P	P	0.0220	0	56.32			
12:45	P	P	P	0.0282	0	56.32			
12:50	P	P	P	0.0032	0	56.31			
12:55	P	P	P	0.0026	0	56.28			
13:00	P	P	P	0.0548	0	56.28		2.5	0.5
13:05	P	P	P	0.0223	0	56.22			
13:10	P	P	P	0.0230	0	56.29			
13:15	P	P	P	0.0149	0	56.33			
13:20	P	P	P	0.0153	0	56.32			
13:25	P	P	P	0.0200	0	56.39			
13:30	P	P	P	0.0309	0	56.36			
13:35	P	P	P	0.0172	0	56.27			
13:40	P	P	P	0.0044	0	56.26			
13:45	P	P	P	0.0167	0	56.22			
13:50	P	P	P	0.0432	0	56.27			
13:55	P	P	P	0.0680	0	56.32			
14:00	P	P	P	0.0335	0	56.26		1.9	0.5
14:05	P	P	P	0.0142	0	56.3			
14:10	P	P	P	0.0108	0	56.3			
14:15	P	P	P	0.0159	0	56.34			
14:20	F	P	F	90.2316	225.77	67.64	05:00		
14:25	F	P	F	89.8768	225.61	67.73			
14:30	F	P	F	91.0171	227.82	67.61			
14:35	F	P	F	90.8161	226.45	67.27			
14:40	F	P	F	90.2753	224.55	67.77			
14:45	F	P	F	90.1562	226.53	68.04			
14:50	F	P	F	91.4509	226.94	67.6			
14:55	F	P	F	90.2791	226.34	66.7			
15:00	F	P	F	90.5476	227.24	67.79		1.5	1
15:05	F	P	F	90.9384	226.18	67.56			
15:10	F	P	F	90.8059	224.95	66.88			
15:15	F	P	F	91.1972	228	66.92			
15:20	F	P	F	90.8900	226.38	67.17			
15:25	F	P	F	90.7251	226.84	67.61			
15:30	F	P	F	90.7863	227.63	67.34			
15:35	F	P	F	90.7383	226.52	67.5			
15:40	F	P	F	89.8286	223.84	67.67			

15:45	F	P	F	90.9269	228.21	68.09			
15:50	F	P	F	90.0983	225.02	67.6			
15:55	F	P	F	91.0873	227.11	68.05			
16:00	F	P	F	90.9230	228.06	67.53			
16:05	F	P	F	89.7938	225.03	67.3			
16:10	F	P	F	90.6965	227.5	68.14			
16:15	F	P	F	90.6557	225.62	66.83			
16:20	F	P	F	90.7710	225.42	66.99			
16:25	F	P	F	89.7116	226.02	67.1			
16:30	F	P	F	91.0286	225.93	67.95			
16:35	F	P	F	90.9377	227.47	67.17			
16:40	F	P	F	90.0488	226.57	66.71			
16:45	F	P	F	91.1307	226.3	68.02			
16:50	F	P	F	90.5238	225.27	67.37			
16:55	F	P	F	89.7983	226.77	67.49			
17:00	F	P	F	90.1159	224.9	68.26			
17:05	F	P	F	91.0032	227.5	67.67			
17:10	F	P	F	89.9276	226.59	67.49			
17:15	F	P	F	90.6231	225.83	68.39			
17:20	F	P	F	90.5683	224.48	67.97			
17:25	F	P	F	91.0695	228.48	67.27			
17:30	F	P	F	90.1408	225.54	66.95			
17:35	F	P	F	89.8212	226.16	67.91			
17:40	F	P	F	89.7391	226.6	67.95			
17:45	F	P	F	90.5178	225.82	67.98			
17:50	F	P	F	90.0529	224.89	67.26			
17:55	F	P	F	89.8409	226.42	67.99			
18:00	F	P	F	90.7394	225.64	68.09			
18:05	F	P	F	91.0832	227.23	67.65			
18:10	F	P	F	90.1675	227.5	67.69			
18:15	F	P	F	89.8749	224.77	67.54			
18:20	F	P	F	90.8925	225.26	67.71			
18:25	F	P	F	90.6844	227.68	67.45			
18:30	F	P	F	89.9679	224.71	67.26			
18:35	F	P	F	91.1151	227.12	68.04			
18:40	F	P	F	90.5977	227.5	66.87			
18:45	F	P	F	90.3490	225.73	67.83			
18:50	F	P	F	90.0699	224.83	68.01			
18:55	F	P	F	89.5025	226.55	67.77			
19:00	F	P	F	90.3988	225.61	68.02			
19:05	F	P	F	90.1381	226.34	67.78			
19:10	F	P	F	90.3219	226.92	67.85			
19:15	F	P	F	90.4528	225.09	67.99			
19:20	P	P	P	0.0535	0	59.38	04:40		
19:25	P	P	P	0.0160	0	58.21			

19:30	P	P	P	0.0069	0	57.49		
19:35	P	P	P	0.0090	0	57.05		
19:40	P	P	P	0.0670	0	56.35		
19:45	P	P	P	0.0511	0	55.71		
19:50	P	P	P	0.0524	0	55.74		
19:55	P	P	P	0.0176	0	55.72		
20:00	P	P	P	0.0068	0	55.76	3.3	2.5
20:05	P	P	P	0.0552	0	55.73		
20:10	P	P	P	0.0596	0	55.78		
20:15	P	P	P	0.0254	0	55.76		
20:20	P	P	P	0.0162	0	55.84		
20:25	P	P	P	0.0119	0	55.86		
20:30	P	P	P	0.0202	0	55.84		
20:35	P	P	P	0.0561	0	55.83		
20:40	P	P	P	0.0290	0	55.82		
20:45	P	P	P	0.0291	0	55.87		
20:50	P	P	P	0.0050	0	55.85		
20:55	P	P	P	0.0249	0	55.83		
21:00	P	P	P	0.0044	0	55.83	2.9	2.5
21:05	P	P	P	0.0510	0	55.86		
21:10	P	P	P	0.0117	0	55.82		
21:15	P	P	P	0.0167	0	55.87		
21:20	P	P	P	0.0453	0	55.81		
21:25	P	P	P	0.0624	0	55.83		
21:30	P	P	P	0.0346	0	55.86		
21:35	P	P	P	0.0196	0	55.88		
21:40	P	P	P	0.0100	0	55.89		
21:45	P	P	P	0.0502	0	55.94		
21:50	P	P	P	0.0477	0	55.92		
21:55	P	P	P	0.0492	0	55.88		
22:00	P	P	P	0.0251	0	55.91	2.6	2.5
22:05	P	P	P	0.0025	0	55.96		
22:10	P	P	P	0.0537	0	55.94		
22:15	P	P	P	0.0629	0	55.9		
22:20	P	P	P	0.0143	0	55.96		
22:25	P	P	P	0.0257	0	55.95		
22:30	P	P	P	0.0050	0	55.98		
22:35	P	P	P	0.0284	0	55.99		
22:40	P	P	P	0.0334	0	56.04		
22:45	P	P	P	0.0002	0	56.06		
22:50	P	P	P	0.0026	0	56.02		
22:55	P	P	P	0.0070	0	56.03		
23:00	P	P	P	0.0093	0	56.06	2.3	2.5
23:05	P	P	P	0.0633	0	56.03		
23:10	P	P	P	0.0484	0	56		

23:15	P	P	P	0.0144	0	56.05		2	2.5
23:20	P	P	P	0.0311	0	56.08			
23:25	P	P	P	0.0058	0	56.12			
23:30	P	P	P	0.0303	0	56.11			
23:35	P	P	P	0.0115	0	56.1			
23:40	P	P	P	0.0005	0	56.09			
23:45	P	P	P	0.0074	0	56.09			
23:50	P	P	P	0.0052	0	56.09			
23:55	P	P	P	0.0075	0	56.12			
00:00	P	P	P	0.0713	0	56.17	02:25	1.7	2.5
00:05	P	P	P	0.0482	0	56.22			
00:10	P	P	P	0.0046	0	56.22			
00:15	P	P	P	0.0071	0	56.24			
00:20	P	P	P	0.0007	0	56.23			
00:25	P	P	P	0.0046	0	56.25			
00:30	P	P	P	0.0322	0	56.26			
00:35	P	P	P	0.0058	0	56.34			
00:40	P	P	P	0.0057	0	56.35			
00:45	P	P	P	0.0191	0	56.35			
00:50	P	P	P	0.0294	0	56.38			
00:55	P	P	P	0.0267	0	56.39			
01:00	P	P	P	0.0136	0	56.39			
01:05	P	P	P	0.0061	0	56.41			
01:10	P	P	P	0.0654	0	56.45			
01:15	P	P	P	0.0579	0	56.49			
01:20	P	P	P	0.0309	0	56.46			
01:25	P	P	P	0.0229	0	56.43			
01:30	P	P	P	0.0130	0	56.45			
01:35	P	P	P	0.0095	0	56.46			
01:40	P	P	P	0.0663	0	56.51			
01:45	P	P	P	0.0255	0	56.5			
01:50	P	P	P	0.0333	0	56.48			
01:55	P	P	P	0.0051	0	56.51			
02:00	P	P	P	0.0311	0	56.5	04:05	1.4	2.5
02:05	P	P	P	0.0379	0	56.51			
02:10	P	P	P	0.0084	0	56.49			
02:15	P	P	P	0.0084	0	56.56			
02:20	P	P	P	0.0155	0	56.58			
02:25	F	P	F	89.6096	224.1	69.46			
02:30	F	P	F	90.0609	227.25	68.69			
02:35	F	P	F	89.6686	225.17	68.14			
02:40	F	P	F	89.1393	225.06	69			
02:45	F	P	F	90.2443	227.91	68.75			
02:50	F	P	F	89.2498	225.22	67.88			
02:55	F	P	F	89.2904	224.24	68.62			

03:00	F	P	F	89.2050	226.11	68.89		1.3	2.5
03:05	F	P	F	90.0213	225.66	68.44			
03:10	F	P	F	89.5241	226.26	68.09			
03:15	F	P	F	88.4794	225.44	68.59			
03:20	F	P	F	89.7431	225.61	69.41			
03:25	F	P	F	89.0810	223.7	68.02			
03:30	F	P	F	89.7631	227.41	68.82			
03:35	F	P	F	88.4311	224.18	68.2			
03:40	F	P	F	89.1024	226.13	69.06			
03:45	F	P	F	88.2345	224.87	68.61			
03:50	F	P	F	90.5821	225.84	69.39			
03:55	F	P	F	90.2249	224.81	67.49			
04:00	F	P	F	89.7283	226.57	68.14		1.8	2.5
04:05	F	P	F	90.1293	226.01	68.57			
04:10	F	P	F	88.7997	225.09	67.85			
04:15	F	P	F	89.4074	226.74	69.09			
04:20	F	P	F	89.1863	224.58	68.29			
04:25	F	P	F	89.3243	223.92	68.47			
04:30	F	P	F	89.8920	227.28	68.74			
04:35	F	P	F	90.0194	225.68	68.53			
04:40	F	P	F	89.7202	226.23	68.31			
04:45	F	P	F	89.3101	226.44	67.97			
04:50	F	P	F	89.8612	224.96	68.8			
04:55	F	P	F	89.9690	226.65	68.58			
05:00	F	P	F	89.4039	226.95	68.53		2.4	2.5
05:05	F	P	F	88.8234	225.11	68.75			
05:10	F	P	F	88.2288	222.53	68.8			
05:15	F	P	F	89.7289	227.51	69.35			
05:20	F	P	F	88.5786	224.03	68.98			
05:25	F	P	F	89.3087	225.82	69.08			
05:30	F	P	F	89.4751	226.72	68.91			
05:35	F	P	F	89.6298	225	68.81			
05:40	F	P	F	89.8009	224.66	68.62			
05:45	F	P	F	89.4315	226.97	68.25			
05:50	F	P	F	88.9829	224.31	69.08			
05:55	F	P	F	89.8381	226.09	69.42			
06:00	F	P	F	89.8886	226.88	68.46		3	2.5
06:05	F	P	F	89.8642	225.85	68.22			
06:10	F	P	F	88.9559	223.57	68.82			
06:15	F	P	F	89.1371	226.66	69.43			
06:20	F	P	F	88.7787	224.38	69.17	04:15		
06:25	F	P	F	89.4076	225.89	69.19			
06:30	P	P	P	0.0002	0	59.46			
06:35	P	P	P	0.0299	0	58.28			
06:40	P	P	P	0.0302	0	57.51			

06:45	P	P	P	0.0266	0	57.08			
06:50	P	P	P	0.0348	0	56.39			
06:55	P	P	P	0.0135	0	55.89			
07:00	P	P	P	0.0159	0	55.85	3.4	2.5	
07:05	P	P	P	0.0366	0	55.95			
07:10	P	P	P	0.0352	0	56.04			
07:15	P	P	P	0.0283	0	55.99			
07:20	P	P	P	0.0004	0	55.95			
07:25	P	P	P	0.0287	0	55.99			
07:30	P	P	P	0.0068	0	55.98			
07:35	P	P	P	0.0360	0	55.96			
07:40	P	P	P	0.0268	0	56.02			
07:45	P	P	P	0.0141	0	56.1			
07:50	P	P	P	0.0570	0	56.04			
07:55	P	P	P	0.0036	0	56.05			
08:00	P	P	P	0.0477	0	56.15	3	2.5	
08:05	P	P	P	0.0327	0	56.2			
08:10	P	P	P	0.0093	0	56.26			
08:15	P	P	P	0.0433	0	56.3			
08:20	P	P	P	0.0672	0	56.3			
08:25	P	P	P	0.0130	0	56.28			
08:30	P	P	P	0.0360	0	56.33			
08:35	P	P	P	0.0021	0	56.3			
08:40	P	P	P	0.0218	0	56.37			
08:45	P	P	P	0.0185	0	56.4			
08:50	P	P	P	0.0145	0	56.34			
08:55	P	P	P	0.0246	0	56.32			
09:00	P	P	P	0.0002	0	56.34	2.7	2.5	
09:05	P	P	P	0.0510	0	56.32			
09:10	P	P	P	0.0072	0	56.3			
09:15	P	P	P	0.0463	0	56.39			
09:20	P	P	P	0.0363	0	56.37			
09:25	P	P	P	0.0047	0	56.37			
09:30	P	P	P	0.0611	0	56.39			
09:35	P	P	P	0.0246	0	56.4			
09:40	P	P	P	0.0436	0	56.46			
09:45	P	P	P	0.0007	0	56.44			
09:50	P	P	P	0.0020	0	56.38			
09:55	P	P	P	0.0028	0	56.41			
10:00	P	P	P	0.0472	0	56.48	2.1	2	
10:05	P	P	P	0.0060	0	56.48			
10:10	P	P	P	0.0186	0	56.48			
10:15	P	P	P	0.0038	0	56.49			
10:20	P	P	P	0.0146	0	56.53			
10:25	P	P	P	0.0617	0	56.56			

10:30	P	P	P	0.0066	0	56.54			
10:35	P	P	P	0.0252	0	56.58			
10:40	P	P	P	0.0096	0	56.62			
10:45	F	P	F	88.7697	225.85	68.77	06:25		
10:50	F	P	F	89.1991	224.42	69.59			
10:55	F	P	F	89.9233	226.53	68.59			
11:00	F	P	F	89.1067	226.38	68.88			
11:05	F	P	F	89.1639	225.01	68.74			
11:10	F	P	F	88.9441	223.18	68.51			
11:15	F	P	F	90.0346	227.17	68.59			
11:20	F	P	F	89.8588	225.89	68.34			
11:25	F	P	F	88.5583	224.87	68.03			
11:30	F	P	F	89.0569	226.24	69.71			
11:35	F	P	F	89.3884	225.04	68.71			
11:40	F	P	F	89.1682	223.39	68.56			
11:45	F	P	F	90.2837	227.75	69.03			
11:50	F	P	F	89.1299	225.34	68.24			
11:55	F	P	F	88.3910	224.73	68.77			
12:00	F	P	F	89.0146	226.34	69.69			
12:05	F	P	F	89.1949	224.68	68.95			
12:10	F	P	F	89.4808	224.07	69.14			
12:15	F	P	F	89.9423	227.59	68.55			
12:20	F	P	F	89.1853	224.49	68.23			
12:25	F	P	F	89.9561	226.06	68.97			
12:30	F	P	F	90.2815	227.41	68.33			
12:35	F	P	F	90.1766	225.73	67.75			
12:40	F	P	F	89.8181	224.63	68.04			
12:45	F	P	F	89.4077	226.81	68.9			
12:50	F	P	F	89.1808	224.15	68.63			
12:55	F	P	F	90.1118	226.58	68.57			
13:00	F	P	F	89.7545	227.17	67.98			
13:05	F	P	F	89.1245	224.65	68.59			
13:10	F	P	F	89.4886	224.32	69.11			
13:15	F	P	F	89.5602	226.92	69.01			
13:20	F	P	F	89.5960	225.03	68.56			
13:25	F	P	F	89.6473	225.81	68.61			
13:30	F	P	F	89.8758	227.1	68.01			
13:35	F	P	F	89.9294	225.75	68.23			
13:40	F	P	F	89.1898	224.14	68.52			
13:45	F	P	F	88.9657	226.4	69.24			
13:50	F	P	F	89.2266	224.88	68.74			
13:55	F	P	F	89.2120	225.95	68.6			
14:00	F	P	F	88.9327	225.9	68.48			
14:05	F	P	F	89.7712	225.31	68.84			
14:10	F	P	F	89.0157	224.13	68.48			

14:15	F	P	F	88.8225	226.26	68.85			
14:20	F	P	F	88.9946	224.28	69.15			
14:25	F	P	F	89.9375	226.19	68.92			
14:30	F	P	F	89.7789	226.97	67.86			
14:35	F	P	F	89.8562	224.97	68.17			
14:40	F	P	F	90.1469	224.7	67.88			
14:45	F	P	F	89.9218	227.51	68.62			
14:50	F	P	F	89.0465	224.18	68.05			
14:55	F	P	F	90.3636	226.5	68.58			
15:00	F	P	F	89.7750	227.49	68.21			
15:05	F	P	F	88.9917	224.06	68.39			
15:10	F	P	F	89.6988	225.01	69.16			
15:15	F	P	F	88.9976	226.1	68.2			
15:20	F	P	F	89.5038	224.82	68.69			
15:25	F	P	F	89.8264	226.23	68.77			
15:30	F	P	F	89.5514	227.24	68.38			
15:35	F	P	F	88.3948	223.84	68.78			
15:40	F	P	F	89.1374	223.83	69.16			
15:45	F	P	F	89.1399	225.87	68.37			
15:50	F	P	F	90.0043	225.58	69.25			
15:55	F	P	F	89.5474	226.14	68.55			
16:00	F	P	F	89.3992	226.59	68.58			
16:05	F	P	F	89.6280	224.77	68.65			
16:10	F	P	F	90.1666	225.38	68.56			
16:15	F	P	F	88.8201	226.12	68.42			
16:20	F	P	F	89.3027	224.92	69.26			
16:25	F	P	F	89.3322	225.75	68.41			
16:30	F	P	F	89.1883	226.49	68.68			
16:35	F	P	F	89.4764	225.27	68.89			
16:40	F	P	F	89.2602	223.74	68.61			
16:45	F	P	F	89.7846	226.94	68.82			
16:50	F	P	F	89.8646	225.8	68.05			
16:55	F	P	F	89.1420	224.87	68.1			
17:00	F	P	F	90.3191	227.88	69.13			
17:05	F	P	F	88.6405	224.23	68.06			
17:10	P	P	P	0.0242	0	59.44	06:25		
17:15	P	P	P	0.0324	0	58.3			
17:20	P	P	P	0.0119	0	57.45			
17:25	P	P	P	0.0030	0	57.12			
17:30	P	P	P	0.0056	0	56.31			
17:35	P	P	P	0.0284	0	56.29			
17:40	P	P	P	0.0124	0	56.28			
17:45	P	P	P	0.0070	0	56.21			
17:50	P	P	P	0.0584	0	56.21			
17:55	P	P	P	0.0504	0	56.2			

18:00	P	P	P	0.0376	0	56.21	3.4	2
18:05	P	P	P	0.0063	0	56.16		
18:10	P	P	P	0.0044	0	56.1		
18:15	P	P	P	0.0413	0	56.14		
18:20	P	P	P	0.0490	0	56.18		
18:25	P	P	P	0.0167	0	56.08		
18:30	P	P	P	0.0010	0	56.12		
18:35	P	P	P	0.0158	0	56.13		
18:40	P	P	P	0.0650	0	56.13		
18:45	P	P	P	0.0272	0	56.15		
18:50	P	P	P	0.0460	0	56.21	3	2.5
18:55	P	P	P	0.0344	0	56.24		
19:00	P	P	P	0.0116	0	56.3		
19:05	P	P	P	0.0136	0	56.3		
19:10	P	P	P	0.0184	0	56.28		
19:15	P	P	P	0.0478	0	56.27		
19:20	P	P	P	0.0073	0	56.28		
19:25	P	P	P	0.0090	0	56.25		
19:30	P	P	P	0.0611	0	56.23		
19:35	P	P	P	0.0604	0	56.21		
19:40	P	P	P	0.0485	0	56.15	2.6	2.5
19:45	P	P	P	0.0312	0	56.16		
19:50	P	P	P	0.0149	0	56.18		
19:55	P	P	P	0.0308	0	56.21		
20:00	P	P	P	0.0322	0	56.13		
20:05	P	P	P	0.0243	0	56.2		
20:10	P	P	P	0.0030	0	56.19		
20:15	P	P	P	0.0151	0	56.19		
20:20	P	P	P	0.0326	0	56.24		
20:25	P	P	P	0.0045	0	56.29		
20:30	P	P	P	0.0357	0	56.23	2.2	2.5
20:35	P	P	P	0.0279	0	56.21		
20:40	P	P	P	0.0070	0	56.26		
20:45	P	P	P	0.0090	0	56.31		
20:50	P	P	P	0.0578	0	56.34		
20:55	P	P	P	0.0423	0	56.4		
21:00	P	P	P	0.0079	0	56.41		
21:05	P	P	P	0.0165	0	56.47		
21:10	P	P	P	0.0329	0	56.52		
21:15	P	P	P	0.0390	0	56.53		
21:20	P	P	P	0.0450	0	56.54		
21:25	P	P	P	0.0090	0	56.49		
21:30	P	P	P	0.0129	0	56.49		
21:35	P	P	P	0.0558	0	56.53		
21:40	P	P	P	0.0008	0	56.48		

21:45	P	P	P	0.0186	0	56.42		1.8	2.5
21:50	P	P	P	0.0141	0	56.41			
21:55	P	P	P	0.0021	0	56.36			
22:00	P	P	P	0.0190	0	56.28			
22:05	P	P	P	0.0489	0	56.26			
22:10	P	P	P	0.0496	0	56.24			
22:15	P	P	P	0.0061	0	56.28			
22:20	P	P	P	0.0026	0	56.23			
22:25	P	P	P	0.0108	0	56.21			
22:30	P	P	P	0.0268	0	56.29			
22:35	P	P	P	0.0250	0	56.3			
22:40	P	P	P	0.0195	0	56.28			
22:45	P	P	P	0.0081	0	56.25			
22:50	P	P	P	0.0219	0	56.2			
22:55	P	P	P	0.0036	0	56.26			
23:00	P	P	P	0.0263	0	56.31	00:25	1.4	2.5
23:05	P	P	P	0.0293	0	56.24			
23:10	P	P	P	0.0077	0	56.31			
23:15	P	P	P	0.0197	0	56.3			
23:20	P	P	P	0.0356	0	56.3			
23:25	P	P	P	0.0375	0	56.31			
23:30	P	P	P	0.0359	0	56.32			
23:35	F	P	F	89.0350	223.99	67.68			
23:40	F	P	F	89.2531	226.53	67.12			
23:45	F	P	F	89.5471	225.75	68.55			
23:50	F	P	F	88.5251	224.57	68.52	08:25	1	2.5
23:55	F	P	F	89.6009	226.78	69.13			
00:00	F	P	F	89.8264	225.28	69.18			
00:05	F	P	F	90.1709	227.76	69.33			
00:10	F	P	F	89.0691	224.96	68.35			
00:15	F	P	F	89.3455	223.52	69.13			
00:20	F	P	F	90.3128	227.87	68.65			
00:25	F	P	F	89.2067	225.05	68.54			
00:30	F	P	F	88.9695	225.32	69.03			
00:35	F	P	F	89.6601	226.77	69.4			
00:40	F	P	F	89.3293	225.06	68.13			
00:45	F	P	F	89.0292	223.47	68.91			
00:50	F	P	F	89.6442	226.71	69.02			
00:55	F	P	F	89.5290	224.89	68.37			
01:00	F	P	F	89.8756	225.9	68.73			
01:05	F	P	F	90.1492	227.21	68.24			
01:10	F	P	F	89.8153	225.33	67.84			
01:15	F	P	F	89.8444	224.66	68.52			
01:20	F	P	F	89.2697	226.77	68.4			
01:25	F	P	F	88.7988	223.59	68.6			

01:30	F	P	F	90.4774	226.93	68.8		
01:35	F	P	F	90.1494	227.83	67.87		
01:40	F	P	F	89.1160	224.93	68.28		
01:45	F	P	F	88.5113	223.09	68.94		
01:50	F	P	F	89.5967	226.77	69.46		
01:55	F	P	F	89.2990	224.78	68.84		
02:00	F	P	F	89.1348	225.53	68.49	-	-
02:05	F	P	F	89.4857	226.61	68.59		
02:10	F	P	F	89.5210	225.25	68.24		
02:15	F	P	F	89.1278	223.96	68.62		
02:20	F	P	F	89.0350	226.45	69.13		
02:25	F	P	F	88.7109	223.83	68.96		
02:30	F	P	F	90.2683	226.58	69.43		
02:35	F	P	F	90.0439	227.16	67.95		
02:40	F	P	F	89.7029	225.42	68.34		
02:45	F	P	F	89.3229	223.94	68.33		
02:50	F	P	F	89.7293	226.94	69.03		
02:55	F	P	F	89.7606	225.44	68.48		
03:00	F	P	F	89.1638	225.67	68.18	1.1	2.5
03:05	F	P	F	89.0789	226.05	68.75		
03:10	F	P	F	89.8969	225.29	68.97		
03:15	F	P	F	89.6724	223.85	68.26		
03:20	F	P	F	90.4405	228.04	68.61		
03:25	F	P	F	88.8756	224.53	68.13		
03:30	F	P	F	89.2478	225.83	68.91		
03:35	F	P	F	89.1019	226.23	69.06		
03:40	F	P	F	89.1106	223.86	69.41		
03:45	F	P	F	89.4314	227.02	68.66		
03:50	F	P	F	89.3728	225.12	68.6		
03:55	F	P	F	88.7529	225.24	68.31		
04:00	F	P	F	89.2907	226.04	69.49	-	-
04:05	F	P	F	90.0330	225.23	68.98		
04:10	F	P	F	90.0143	224.69	67.98		
04:15	F	P	F	89.6484	227.17	68.14		
04:20	F	P	F	88.8930	224.86	68.1		
04:25	F	P	F	88.8608	224.62	69.36		
04:30	F	P	F	90.0749	226.73	68.76		
04:35	F	P	F	90.4267	225.92	67.89		
04:40	F	P	F	89.9267	227.23	68.05		
04:45	F	P	F	89.5804	224.78	68.13		
04:50	F	P	F	89.6643	224.69	68.56		
04:55	F	P	F	88.8547	226.13	68.6		
05:00	F	P	F	88.9381	224.52	69.26	1.5	2.5
05:05	F	P	F	89.2268	225.28	68.73		
05:10	F	P	F	90.3790	227.82	68.55		

05:15	F	P	F	89.4707	224.72	68.18			
05:20	F	P	F	89.6463	224.63	68.53			
05:25	F	P	F	89.1608	226.45	69.02			
05:30	F	P	F	89.4746	225.01	68.58			
05:35	F	P	F	89.4692	225.83	69.1			
05:40	F	P	F	89.5201	226.66	68.9			
05:45	F	P	F	89.2679	224.15	68.55			
05:50	F	P	F	90.3460	225.01	68.86			
05:55	F	P	F	89.5548	226.93	68.38			
06:00	F	P	F	89.2746	224.72	68.56			
06:05	F	P	F	89.4794	225.96	69.23			
06:10	F	P	F	89.5135	226.82	68.63			
06:15	F	P	F	89.1130	224.37	68.81			
06:20	F	P	F	89.8520	224.1	68.68			
06:25	F	P	F	90.5649	228.34	68.19			
06:30	F	P	F	88.9263	224.87	67.67			
06:35	F	P	F	88.9138	225.11	69.34			
06:40	F	P	F	89.8516	227.18	69.25			
06:45	F	P	F	89.1638	224.95	68.55			
06:50	F	P	F	88.8490	223.09	68.39			
06:55	F	P	F	89.9300	227.18	68.92			
07:00	F	P	F	90.1537	225.87	68.33			
07:05	F	P	F	89.4003	226.45	68.15			
07:10	F	P	F	88.2685	225.14	68.6			
07:15	F	P	F	89.3819	224.49	69.71			
07:20	F	P	F	90.3895	225.35	69.1			
07:25	F	P	F	88.9581	226.33	68.31			
07:30	F	P	F	89.0508	224.95	68.79			
07:35	F	P	F	89.1758	224.84	69.16			
07:40	F	P	F	90.3103	227.54	69.06			
07:45	F	P	F	89.7217	225.48	68.19			
07:50	F	P	F	89.2523	224.04	68.78			
07:55	F	P	F	89.0463	225.69	68.83			
08:00	F	P	F	90.2880	225.61	68.86			
08:05	F	P	F	90.3513	227.39	68.32			
08:10	F	P	F	88.4153	225.1	68.07			
08:15	F	P	F	90.1463	225.73	69.17			
08:20	F	P	F	89.3422	222.74	67.72			
08:25	P	P	P	0.0684	0	60.53	03:45		
08:30	P	P	P	0.0082	0	58.2			
08:35	P	P	P	0.0291	0	57.41			
08:40	P	P	P	0.0211	0	57.03			
08:45	P	P	P	0.0116	0	55.94			
08:50	P	P	P	0.0533	0	55.86			
08:55	P	P	P	0.0124	0	55.86			

09:00	P	P	P	0.0112	0	55.89		2	0
09:05	P	P	P	0.0185	0	55.92			
09:10	P	P	P	0.0061	0	55.99			
09:15	P	P	P	0.0245	0	56.01			
09:20	P	P	P	0.0056	0	55.98			
09:25	P	P	P	0.0079	0	56.01			
09:30	P	P	P	0.0270	0	56.03			
09:35	P	P	P	0.0023	0	55.99			
09:40	P	P	P	0.0428	0	55.98			
09:45	P	P	P	0.0496	0	55.98			
09:50	P	P	P	0.0439	0	56			
09:55	P	P	P	0.0175	0	56.05			
10:00	P	P	P	0.0035	0	56.04		2	0
10:05	P	P	P	0.0612	0	56.04			
10:10	P	P	P	0.0727	0	55.98			
10:15	P	P	P	0.0479	0	56.05			
10:20	P	P	P	0.0099	0	56.01			
10:25	P	P	P	0.0078	0	56.05			
10:30	P	P	P	0.0340	0	56.05			
10:35	P	P	P	0.0732	0	56.05			
10:40	P	P	P	0.0305	0	56.06			
10:45	P	P	P	0.0335	0	56.05			
10:50	P	P	P	0.0099	0	56.02			
10:55	P	P	P	0.0264	0	56			
11:00	P	P	P	0.0105	0	56		2	0
11:05	P	P	P	0.0468	0	56.01			
11:10	P	P	P	0.0080	0	55.98			
11:15	P	P	P	0.0095	0	55.94			
11:20	P	P	P	0.0337	0	55.94			
11:25	P	P	P	0.0709	0	55.97			
11:30	P	P	P	0.0365	0	56.04			
11:35	P	P	P	0.0235	0	56.04			
11:40	P	P	P	0.0008	0	56.04			
11:45	P	P	P	0.0672	0	56.08			
11:50	P	P	P	0.0574	0	56.13			
11:55	P	P	P	0.0250	0	56.07			
12:00	P	P	P	0.0078	0	56.04		2	0
12:05	P	P	P	0.0105	0	56.05	01:20		
12:10	F	P	F	89.4895	225.14	69.7			
12:15	F	P	F	89.3675	224.65	68.95			
12:20	F	P	F	88.3482	225.38	68.76			
12:25	F	P	F	89.6715	225.34	69.22			
12:30	F	P	F	89.4443	225.97	68.7			
12:35	F	P	F	89.4779	226.61	68.88			
12:40	F	P	F	90.0396	225.96	69.07			

12:45	F	P	F	88.8871	223.41	68.51		2	0
12:50	F	P	F	89.7201	227.44	69.37			
12:55	F	P	F	88.8148	224.78	68.55			
13:00	F	P	F	88.2618	224.26	69.4			
13:05	F	P	F	89.8595	227.2	69.7			
13:10	F	P	F	89.6626	225.77	68.04			
13:15	F	P	F	88.4394	223.63	68.37			
13:20	F	P	F	88.5306	225.82	69.63			
13:25	F	P	F	89.6010	225.43	69.53			
13:30	P	P	P	0.0760	0	61.37	03:10	2.4	0
13:35	P	P	P	0.0425	0	58.27			
13:40	P	P	P	0.0088	0	57.5			
13:45	P	P	P	0.0143	0	57.05			
13:50	P	P	P	0.0568	0	56			
13:55	P	P	P	0.0214	0	55.99			
14:00	P	P	P	0.0257	0	55.95			
14:05	P	P	P	0.0192	0	55.95			
14:10	P	P	P	0.0112	0	55.91			
14:15	P	P	P	0.0462	0	55.89			
14:20	P	P	P	0.0734	0	55.91			
14:25	P	P	P	0.0137	0	55.91			
14:30	P	P	P	0.0098	0	55.94			
14:35	P	P	P	0.0063	0	55.92			
14:40	P	P	P	0.0109	0	55.92			
14:45	P	P	P	0.0529	0	55.9			
14:50	P	P	P	0.0127	0	55.86			
14:55	P	P	P	0.0215	0	55.86			
15:00	P	P	P	0.0020	0	55.87		2.2	0
15:05	P	P	P	0.0124	0	55.86			
15:10	P	P	P	0.0157	0	55.87			
15:15	P	P	P	0.0570	0	55.88			
15:20	P	P	P	0.0341	0	55.87			
15:25	P	P	P	0.0356	0	55.87			
15:30	P	P	P	0.0136	0	55.86			
15:35	P	P	P	0.0147	0	55.87			
15:40	P	P	P	0.0487	0	55.85			
15:45	P	P	P	0.0476	0	55.83			
15:50	P	P	P	0.0269	0	55.84			
15:55	P	P	P	0.0086	0	55.81			
16:00	P	P	P	0.0616	0	55.84		2.2	0
16:05	P	P	P	0.0197	0	55.81			
16:10	P	P	P	0.0459	0	55.8			
16:15	P	P	P	0.0369	0	55.8			
16:20	P	P	P	0.0107	0	55.77			
16:25	P	P	P	0.0699	0	55.78			

16:30	P	P	P	0.0412	0	55.74			
16:35	P	P	P	0.0173	0	55.78			
16:40	F	P	F	89.6859	226.57	68.46	05:00	1.9	0
16:45	F	P	F	88.7525	226.27	68.64			
16:50	F	P	F	88.8586	224.08	69.38			
16:55	F	P	F	89.8437	224.69	69.05			
17:00	F	P	F	89.3334	226.31	68.26			
17:05	F	P	F	90.1076	225.09	69.1			
17:10	F	P	F	90.1136	226.63	68.61			
17:15	F	P	F	89.5359	226.55	68.82			
17:20	F	P	F	89.5114	225.3	68.73			
17:25	F	P	F	89.0202	225.76	68.31			
17:30	F	P	F	88.7060	226.36	68.45			
17:35	F	P	F	88.6841	224.14	69.09			
17:40	F	P	F	89.7899	225.01	68.85			
17:45	F	P	F	88.4268	225.19	68.55			
17:50	F	P	F	89.6993	224.96	69.52			
17:55	F	P	F	90.4748	227.43	68.44			
18:00	F	P	F	89.0493	226.23	67.82		2.2	0
18:05	F	P	F	89.3101	225.04	68.64			
18:10	F	P	F	88.9876	223.45	68.76			
18:15	F	P	F	89.3646	227.19	68.73			
18:20	F	P	F	88.5996	223.56	69.23			
18:25	F	P	F	89.8091	226.81	69.16			
18:30	F	P	F	88.7504	225.84	68.31			
18:35	F	P	F	89.6071	224.79	69.22			
18:40	F	P	F	90.0919	224.91	68.39			
18:45	F	P	F	89.9417	227.1	68.22			
18:50	F	P	F	89.9789	226.21	67.82			
18:55	F	P	F	88.6398	224.51	67.88			
19:00	F	P	F	90.1661	227.63	69.38		2.5	0
19:05	F	P	F	89.5882	225.12	67.85			
19:10	F	P	F	89.7078	224.48	68.94			
19:15	F	P	F	89.4769	227.13	68.55			
19:20	F	P	F	88.9732	224.58	69.21			
19:25	F	P	F	89.6349	226.43	69.31			
19:30	F	P	F	88.6940	225.77	68.6			
19:35	F	P	F	89.4978	224.72	69.08			
19:40	F	P	F	89.9062	224.96	68.58			
19:45	F	P	F	89.4841	226.71	68.11			
19:50	F	P	F	89.3977	224.83	68.31			
19:55	F	P	F	89.0513	225.7	68.87			
20:00	F	P	F	88.9761	226.07	68.74		2.9	0.5
20:05	F	P	F	89.5549	224.98	68.68			
20:10	F	P	F	89.9537	224.87	69.01			

20:15	F	P	F	89.4957	226.35	68.12			
20:20	F	P	F	89.7692	224.97	68.63			
20:25	F	P	F	90.0774	226.55	68.26			
20:30	F	P	F	89.6996	226.94	68.54			
20:35	F	P	F	89.4491	225.57	68.9			
20:40	F	P	F	88.7658	223.41	68.3			
20:45	F	P	F	89.8148	226.65	68.95			
20:50	F	P	F	90.1040	226.06	68.56			
20:55	F	P	F	88.7355	224.81	68.38			
21:00	F	P	F	89.2889	226.53	69.35			
21:05	F	P	F	89.3812	225.17	68.54			
21:10	F	P	F	89.2102	223.59	69.15			
21:15	F	P	F	89.9434	227.05	68.81			
21:20	F	P	F	90.0167	225.67	68.39			
21:25	F	P	F	89.6843	226.7	68.33			
21:30	F	P	F	88.8531	226.52	68.28			
21:35	F	P	F	88.4309	224.11	68.63			
21:40	P	P	P	0.0282	0	60.41	02:20		
21:45	P	P	P	0.0137	0	58.29			
21:50	P	P	P	0.0509	0	57.46			
21:55	P	P	P	0.0686	0	57.11			
22:00	P	P	P	0.0299	0	56.03			
22:05	P	P	P	0.0276	0	56.04			
22:10	P	P	P	0.0018	0	55.99			
22:15	P	P	P	0.0073	0	55.99			
22:20	P	P	P	0.0156	0	56.06			
22:25	P	P	P	0.0163	0	56.07			
22:30	P	P	P	0.0006	0	56.07			
22:35	P	P	P	0.0008	0	56.04			
22:40	P	P	P	0.0247	0	56.02			
22:45	P	P	P	0.0585	0	56.01			
22:50	P	P	P	0.0467	0	55.99			
22:55	P	P	P	0.0219	0	55.99			
23:00	P	P	P	0.0011	0	55.96			
23:05	P	P	P	0.0328	0	55.91			
23:10	P	P	P	0.0463	0	55.95			
23:15	P	P	P	0.0330	0	55.97			
23:20	P	P	P	0.0050	0	55.99			
23:25	P	P	P	0.0083	0	55.97			
23:30	P	P	P	0.0041	0	55.99			
23:35	P	P	P	0.0140	0	55.98			
23:40	P	P	P	0.0363	0	55.97			
23:45	P	P	P	0.0115	0	55.96			
23:50	P	P	P	0.0086	0	55.96			

23:55	P	P	P	0.0414	0	55.96		
-------	---	---	---	--------	---	-------	--	--