



# **UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**

**CENTRO ACADÊMICO DO AGreste**

**NÚCLEO DE TECNOLOGIA**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

## **PLANEJAMENTO PARA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM CATENDE EM PERÍODOS DE ESCASSEZ**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO  
POR**

**ALDÊNIA KARLA BARRÊTO CANDIDO**

Orientadora: Profa. Tatiana Balbi Fraga

**CARUARU, 2016**

**ALDÊNIA KARLA BARRÊTO CANDIDO**

**PLANEJAMENTO PARA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM CATENDE  
EM PERÍODOS DE ESCASSEZ**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao  
Curso de Engenharia de Produção do Centro  
Acadêmico do Agreste - CAA, da  
Universidade Federal de Pernambuco -  
UFPE, como requisito para a disciplina  
**Projeto Final de Curso.**

Área de concentração: Pesquisa Operacional  
Orientadora: Tatiana Balbi Fraga

Caruaru, Novembro / 2016

Catalogação na fonte:  
Bibliotecária – Marcela Porfírio CRB/4 - 1878

C217p Cândido, Aldênia Karla Barrêto.  
Planejamento para distribuição de água em Catende em períodos de escassez. /  
Aldênia Karla Barrêto Cândido. – 2016.  
72f.: il.; 30 cm.

Orientadora: Tatiana Balbi Fraga.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de  
Pernambuco, CAA, Engenharia de Produção, 2016.  
Inclui Referências.

1. Abastecimento de água – Catende. 2. Água – Distribuição – Catende. 3. Recursos  
naturais – Catende. I. Fraga, Tatiana Balbi (Orientadora). II. Título.

658.5 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2016-268)

ALDÊNIA KARLA BARRÊTO CANDIDO

**PLANEJAMENTO PARA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM CATENDE EM  
PERÍODOS DE ESCASSEZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do Curso de Engenharia Produção do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Área de concentração: **Pesquisa Operacional**

A banca examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o candidato **APROVADO** com nota \_\_\_\_\_.

Caruaru, 08 de dezembro de 2016.

Banca examinadora:

Prof. Dra. Tatiana Balbi Fraga: \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Prof. Dra. Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente: \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Prof. Dra. Maísa Mendonça Silva: \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Prof. Dr. Thalles Vitelli Garcez: \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina de TCC)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo dom da vida, e por ter me sustentado durante essa longa caminhada, me abençoando por mais esta conquista.

Aos meus amados pais Carlos e Adeilda, pelo incentivo e amor incondicional principalmente nos momentos mais difíceis, sempre acreditando que eu venceria. Esta vitória é tão minha quanto de vocês.

A minha querida irmã Elainy ou simplesmente Aly, por todo companheirismo e amizade que colaborou de forma significativa para esta conquista.

A minha orientadora Tatiana Balbi Fraga, por todo ensinamento, contribuição, incentivo e por muitas vezes acreditar muito mais em mim que eu mesma.

A Maria Sandra que além de companheira nesta batalha, juntamente com toda a sua família, me acolheu como mais um membro da família Moreira dos Santos. Posso dizer que ganhei uma família em Caruaru, muito obrigada Manuel, Milena, Camila, Vinícius e Nicole.

Aos amigos e companheiros de curso, por toda a troca de conhecimento e experiências compartilhadas. Viramos noites, choramos, rimos, discutimos..., mas sobretudo estivemos sempre apoiando uns aos outros em todos os momentos, agradeço em especial a Heleno, Ingrid e Helder.

Aos meus amigos Catendenses por todo apoio e incentivo... obrigada por estarem sempre presentes e compreenderem toda a minha ausência, vocês foram essenciais nesta conquista.

Aos amigos Caruaruenses, pelo carinho e amizade construída, pela sensibilidade em saber a hora de me tirar de casa quando a mente estava tão cansada, muito obrigada!

A UFPE e corpo Docente, pelos conhecimentos transmitidos e por contribuírem para a minha formação profissional.

A minha família pelo apoio e torcida.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente para que eu chegassem até aqui, MUITO OBRIGADA!

*“Os dias prósperos não vem por acaso, nascem de muita fadiga e persistência”.*

*Henry Ford*

## **RESUMO**

A água representa um dos recursos mais importantes em nosso planeta. Tanto, pessoas físicas, quanto empresas públicas e privadas dependem de um fornecimento constante de água tratada para realização de suas atividades diárias, sendo esse, portanto, um recurso imprescindível. Um dos problemas que ocorre quando esse recurso se encontra escasso é a dificuldade por parte das empresas distribuidoras de água em garantir que as unidades consumidoras recebam pelo menos a quantidade mínima desse recurso necessária à realização das tarefas que são primordiais. Diante deste problema, no presente trabalho, foi realizado um estudo do processo de distribuição de água pelo SAA (Serviços de Abastecimento de Água) da cidade de Catende - PE. Com base nesse estudo, foi desenvolvido um modelo matemático para o problema de geração de calendários de distribuição de água. Tal modelo teve como principal objetivo proporcionar uma distribuição mais justas de água entre os distintos setores de Catende em períodos de escassez desse precioso recurso. Para tanto buscou-se minimizar a diferença entre a quantidade de água necessária para abastecimento de cada um dos distintos setores da cidade e a quantidade que estes setores recebem segundo a programação apresentada pelos calendários. Para validação do modelo desenvolvido, foi proposto um algoritmo baseado na heurística Recozimento Simulado, o qual foi testado através de dados levantados durante a realização deste trabalho, relativos à cidade de Catende assim como ao processo estudado. Como resultado, observou-se que tanto o modelo quanto o algoritmo desenvolvido foram capazes de atingir os objetivos propostos, se mostrando como importantes ferramentas de auxílio ao processo de decisão. Em especial, o algoritmo proposto apresentou uma convergência muito rápida para soluções sub-ótimas, estas últimas sendo fortemente influenciadas pelo tempo estabelecido para os turnos de distribuição dos calendários.

**Palavras-chave:** Catende; Distribuição de Água; Modelagem; Recozimento Simulado.

## **ABSTRACT**

Water represents the most important resources on our planet. Both private individuals and public and private companies rely on a constant supplier of water treated for the exercise of their daily activities, which is therefore an indispensable resource. One of the problems that occur when this resource is found to be scarce is a difficulty on the part of the water distributors in ensuring that the consumption units receive less than a minimum amount of a task maintenance resource that is paramount. In view of this problem, no work was carried out, a water distribution process study was carried out by the Water Supply Service (SAA) of the city of Catende - PE. Based on this study, a mathematical model was developed for the problem of generation of water distribution schedules. The main objective of this model was to provide a fairer distribution of water between the different sectors of Cathez during periods of scarce resources. In order to do so, it was sought to minimize a difference between a quantity of water useful for supplying each of the different sectors of the city and a quantity that these sectors receive according to a schedule presented by the calendars. To validate the developed model, a basic algorithm was proposed in the Simulated Annealing heuristic, which was tested through data collected during a work in this work, related to the city of Cathez as well as the process studied. As a result, it was observed that both the model and the algorithm were developed for the proposed objectives, showing as important tools to aid the decision process. In particular, the proposed algorithm presented a very fast convergence for sub-optimal solutions, the latter being strongly influenced by the time established for scheduling scheduling shifts.

**Keywords:** Catende; Water Distribution; Modeling; Simulated annealing.

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
1.1	Objetivos.....	14
1.1.1	Objetivo Geral .....	14
1.2	Metodologia de desenvolvimento do trabalho.....	14
1.3	Estrutura do Trabalho .....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
2.1	Serviços Públicos.....	17
2.2	Sistema de abastecimento de água nos municípios .....	17
2.2.1	Etapas que compõem o SAA.....	18
2.3	Crise hídrica.....	19
2.4	Gestão dos recursos hídricos .....	21
2.5	Benefício em redução das perdas em SAA .....	22
2.6	Metodologias de solução para problemas de otimização combinatória .....	23
2.6.1	Recozimento Simulado .....	24
3	ESTUDO DE CASO .....	27
3.1	Situação político-geográfica de Catende .....	27
3.2	Sistema de abastecimento de água em Catende.....	27
3.3	Distribuição de água em Catende .....	31
3.4	Demandas das unidades consumidoras .....	34
3.4.1	Problema de distribuição de água em momentos de escassez.....	35
4	PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA .....	36
4.1	Modelo Matemático.....	36
4.2	Metodologia de solução proposta .....	38
4.2.1	Representação da Solução .....	38
4.2.2	Geração da solução inicial.....	40

4.2.3	Perturbação e geração de novas soluções .....	40
4.3	Levantamento de dados para teste do modelo .....	41
5	RESULTADO E DISCUSSÕES.....	44
5.1	Implementação.....	44
5.2	Resultados.....	44
6	CONCLUSÕES.....	48
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49
	APÊNDICE .....	54

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 2.1 - Sistema de Abastecimento de Água.....	18
Figura 2.2 - Perdas de Água nos SAA.....	22
Figura 2.3 - Fluxograma Recozimento Simulado.....	25
Figura 3.1 - Limite Territorial de Catende .....	27
Figura 3.2 - Açude Santa Rita .....	28
Figura 3.3 - Estações de Tratamento de Água - Convencional e Mecânica .....	28
Figura 3.4 - ETA Catende.....	29
Figura 3.5 - Calha de Parshall, adição de cloro e sulfato de alumínio .....	30
Figura 3.6 - Etapas de Tratamento de Água - Tipo convencional .....	31
Figura 3.7 - Mapa de Catende por setores de abastecimento .....	32
Figura 3.8 - Reservatórios Apoiado e Elevado.....	32
Figura 3.9 - Esquema de Distribuição de Água em Catende.....	33
Figura 4.1 - Gráfico das Eficiências .....	41

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 3.1 - Demanda diária de Água por Setor .....	34
Tabela 3.2 - Demanda diária de Água por Setor, necessidade estabelecida pela ONU .....	35
Tabela 4.1 - Representação Binária da Solução .....	39
Tabela 4.2 - Índice do Turno por Período .....	42
Tabela 4.3 - Quantidade da demanda de água diária/setor - ONU .....	42
Tabela 4.4 - Quantidade máxima de água fornecida .....	42
Tabela 4.5 - Capacidade dos reservatórios em litros .....	43
Tabela 4.6 - Setores que recebem água diretamente de reservatório "r" .....	43
Tabela 4.7 - Reservatórios que recebem água do reservatório "r" .....	43
Tabela 4.8 - Mananciais que fornecem água para o reservatório "r" .....	43
Tabela 5.1 Calendário de Abastecimento .....	45

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme citado por muitos e cantado por Guilherme Arantes (1981), nosso Planeta Terra poderia se chamar Planeta Água. Essa ideia ocorre devido ao fato de que cerca de 71% da superfície da Terra é coberta por água em estado líquido. Contudo, a chamada água doce, que é a parte desse precioso recurso apropriada ao consumo, corresponde a apenas cerca de 2,6% do total de água do planeta (Barros & Amin, 2008) e, apesar dessa pequena percentagem ser suficiente para nosso consumo, frequentemente, muitos lugares no mundo enfrentam fortes problemas como consequência da falta ou escassez desse recurso. O Brasil não escapa dessa problemática. Periodicamente, o país sofre fortes crises hídricas, gerando a necessidade de se buscar ideias criativas de racionamento.

Outro fator que torna essa problemática ainda mais preocupante é a falta de cuidados com esse precioso recurso. Através dos séculos, os diferentes usos da água pelo homem aumentaram excessivamente, resultando em degradação e poluição ambiental. Costa *et al.* (2003) corroboram com esta afirmativa quando apontam que o uso indiscriminado da água potável e as alterações de sua qualidade devido às descargas poluidoras, vem tornando esse recurso cada vez mais escasso, gerando elevados índices de poluição dos recursos hídricos. Para o Instituto Socioambiental (2008), a degradação das fontes de água tem uma forte relação com o aumento das diversas atividades agrícolas, bem como o acréscimo da urbanização e intensificação de atividades humanas nas bacias hidrográficas, gerando um aumento na demanda por água.

Como prova da importância dos problemas relacionados à má utilização dos recursos hídricos, a Unesco declarou que 2013 seria o Ano Internacional de Cooperação Pela Água, iniciativa voltada para mostrar a necessidade de uma melhor gestão das fontes de água, uma vez que a escassez hídrica já atinge 11% da população mundial (Oliveira *et al.*, 2015).

Em função dos diversos problemas acima mencionados, várias regiões do mundo, frequentemente, se deparam com a necessidade de adotar medidas para uma melhor gestão de seus recursos hídricos, gerando uma forte demanda pela realização de estudos científicos. Esses estudos têm como principal foco a definição estratégica de uma gestão hídrica, que deve garantir que a água tratada chegue aos seus consumidores de forma adequada e com menor perda possível. Devido à importância relacionada a esse tema, a literatura apresenta uma grande variedade de trabalhos que tratam desse assunto. Conforme pode ser observado no artigo de Sankaret *et al.* (2015), a maioria desses trabalhos focam na simulação, calibração e

design otimizado das redes, onde, geralmente, considera-se como objetivos: a) minimização do custo de energia para bombeamento da água na rede de distribuição (Joalland & Cohen, 1980; Lansey & Awumah, 1990; Jowitt & Germanopoulos, 1992; Klempous & Kotowski, 1997; Rao & Salomons, 2007; Yu, Zhang & Li, 2005); e b) regularização das pressões de água, buscando manter os níveis de reservatórios aceitáveis para o atendimento da demanda (Lansey & Awumah, 1994; Ertinet *et al.*, 2001). Em paralelo também são realizados estudos voltados ao custo da qualidade da água fornecida, através do controle das substâncias utilizadas no seu tratamento (Cembrano *et al.*, 2000; Constante *et al.*, 2003). É importante destacar que o desenvolvimento dos estudos acima citados para controle e operação ótima na distribuição de água são aplicáveis a situações em que os recursos disponíveis são suficientes para atender as exigências da demanda. Recentemente, uma preocupação relacionada à gestão da água tem sido o grande desperdício desse recurso ocasionado devido às perdas através de vazamentos existentes nas redes de distribuição. Desta forma, muitos estudos voltados a manutenção destas redes também têm sido realizados. Tais estudos visam a criação de métodos para reparo nestas redes, sem que haja grandes interrupções nos abastecimentos de água das unidades consumidoras (Fontana, 2012).

No Brasil, cidades que atravessam grandes períodos de estiagem também são obrigadas a adotar medidas que gerem economia aos seus mananciais. Atualmente, é comum a adoção de estratégias como o revezamento em dias, para o abastecimento de água nas cidades, onde são criados “calendários” de distribuição visando atender parcialmente a população. De acordo com estudos efetuados durante a realização desse trabalho, a elaboração destes “calendários” é feita de forma empírica, baseada apenas no prévio conhecimento da demanda nos determinados setores de abastecimento. Esses mesmos estudos mostraram que existe uma grande insatisfação com relação à forma como a água é distribuída em períodos de escassez. Devido à alta complexidade que os sistemas de abastecimento de água atingem progressivamente ao longo de sua vida útil, provocada pelo crescimento dos níveis de urbanização e consequente aumento do consumo de água, torna-se necessário a realização de pesquisas que busquem melhores alternativas para elaboração desses calendários.

Diante dessa emergente necessidade, no presente trabalho é apresentado um estudo sobre o processo de distribuição de água na cidade de Catende-PE. Através desse estudo, o problema de elaboração de calendários para distribuição de águas em períodos de escassez é modelado matematicamente e é proposta uma solução para o modelo desenvolvido, baseada

na heurística Recozimento Simulado. Tendo em vista a importância e dependência no consumo de água para a sobrevivência do ser humano, seja ele consumo residencial ou industrial, e frente a grande crise hídrica que assola todo o mundo, tal solução será uma importante base para o desenvolvimento de ferramentas que possam auxiliar organizações responsáveis pelo abastecimento de águas municipais a efetuarem uma melhor gestão da água em momentos de falta dos recursos hídricos.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho consiste no estudo do processo de distribuição de água da cidade de Catende- PE, visando propor uma metodologia de solução para o problema de distribuição de água em períodos de escassez desse recurso. Para atingir o objetivo geral, os objetivos específicos a serem alcançados são definidos, conforme a seguir:

- ✓ Análise do processo de distribuição de água no município de Catende;
- ✓ Definição dos parâmetros, variáveis de decisão, objetivos e restrições para a criação do modelo matemático;
- ✓ Desenvolvimento do modelo matemático para o abastecimento de água;
- ✓ Desenvolvimento do algoritmo de solução; e
- ✓ Teste e validação do algoritmo e do modelo desenvolvidos.

## 1.2 Metodologia de desenvolvimento do trabalho

A realização do presente trabalho foi dividida em cinco etapas distintas, conforme descrito a seguir:

**1<sup>a</sup> etapa** - Estudo bibliográfico: nessa etapa foi realizado um vasto estudo bibliográfico sobre o problema de distribuição de água e sobre alguns métodos de modelagem e outros aplicados à solução de problemas de otimização combinatória. Também foi realizado um estudo sobre a linguagem de programação c++.

**2<sup>a</sup> etapa** - Levantamento de dados relevantes para construção do modelo: na segunda etapa foi escolhido como objeto do presente estudo, o sistema de distribuição de água do Serviços de Abastecimento de Água e Esgoto - SAAE localizado na cidade de Catende-PE. Para compreensão de todas as fases que compõe esse sistema, foram realizadas várias visitas

técnicas. Essas visitas também possibilitaram o levantamento de dados relevantes para a construção e validação do modelo matemático desenvolvido.

**3<sup>a</sup> etapa** - Construção do modelo: nesta etapa foram definidos os principais parâmetros e restrições ligados ao sistema estudado, assim como os objetivos a serem otimizados. Com base nestas definições, foi desenvolvido um modelo matemático para o problema.

**4<sup>a</sup> etapa** - Adequação de algoritmos apresentados na literatura para solução do modelo construído: na quarta etapa, o método Recozimento Simulado foi adaptado para solução do modelo desenvolvido.

**5<sup>a</sup> etapa** - Teste do modelo e do algoritmo desenvolvidos: para teste do modelo matemático e do algoritmo de solução proposto, foi desenvolvido um programa em linguagem C++ através do Code::Block®. O desenvolvimento deste aplicativo trouxe diversas vantagens para a elaboração deste trabalho, onde sua principal contribuição foi na resolução do modelo matemático desenvolvido, possibilitando a análise e construção do planejamento para a distribuição de água.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

Com vista a atender os objetivos anteriormente apresentados, o presente trabalho foi estruturado em seis capítulos. O primeiro capítulo discorre sobre a proposta do trabalho, contextualização e apresentação dos objetivos. No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os principais assuntos relacionados ao tema estudado, apresentando embasamento teórico para compreensão dos capítulos seguintes. Nesse capítulo estão descritos os principais conceitos referentes aos serviços públicos, com foco voltado ao abastecimento de água. Também é apresentada uma definição das formas de abastecimento de água, mostrando a importância de uma boa gestão deste serviço. O terceiro capítulo apresenta uma descrição do caso analisado, expondo importantes informações sobre a empresa estudada, e descrevendo de forma detalhada como é realizado todo o processo de abastecimento de água desde a sua captação até sua distribuição. Neste capítulo, também são apresentadas as informações coletadas, que deram embasamento para o desenvolvimento do modelo matemático descrito no próximo capítulo. No quarto capítulo é apresentado o modelo matemático desenvolvido para o problema estudado, assim como a metodologia de solução proposta e o levantamento de dados para a solução do mesmo. No quinto capítulo são demonstrados os resultados para o estudo realizado. Neste capítulo também são apresentadas

análises das soluções encontradas. Finalmente, no sexto capítulo são apresentadas as considerações finais para este trabalho e proposições para trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Serviços Públicos

O julgamento de serviço público está intimamente ligado aos conceitos de serviço que, segundo Kotler, (1998) pode constituir qualquer atividade ou benefício oferecido, que tenha como característica a intangibilidade e que não resulte a nenhuma propriedade, sem estar ligado a um produto físico. A qualidade é dependente de quem presta o serviço, onde e como o serviço é prestado e por fim tem a característica da perecibilidade quando não se pode ser armazenado para uso ou venda posterior sendo produzido ao mesmo tempo em que é consumido (Kotler & Keller, 2006). O conceito de público é o que remete à ideia de coletividade e ao exercício do poder, à sociedade dos iguais (Cruz, 2016). Com a compreensão dos conceitos isoladamente, podemos entender que serviços públicos são as atividades que buscam atender às necessidades coletivas, variando entre as realidades sociais de cada país e de acordo com os momentos históricos vividos à cada época.

Autores como Bandeira de Mello (2004 apud Abiko, 2011), avaliam o serviço público como sendo toda atividade oferecida com uma comodidade usufruída predominantemente pelos administradores, sob um regime de direito público. Aguillar, (1999) avalia o serviço público como sendo uma atividade que tenha seu desempenho regulado, garantido e controlado pelos governantes, por ser uma atividade indispensável à realização e ao desenvolvimento da interdependência social. Desta forma para o desenvolvimento de uma cidade, região ou país é importante que os serviços públicos sejam oferecidos com qualidade e responsabilidade, tornando-os instrumentos de desenvolvimento econômico.

### 2.2 Sistema de abastecimento de água nos municípios

É comum às esferas da União, Estados e Municípios em termos da Constituição Federal a responsabilidade sobre o serviço de água e esgoto, sendo o Poder Público competente a prestação deste serviço, bem como sua regularização e controle, mas na prática, e principalmente em pequenas regiões, este serviço é considerado atribuição local, ou seja Municipal (Abiko, 2011), através de órgãos que podem ser do tipo SAA - Serviços de Abastecimento de Água ou SAAE - Serviços de Abastecimento de Água e Esgoto, sendo estes responsáveis pela gestão dos recursos hídricos.

De acordo com a Portaria MS nº 518/2004, um sistema de abastecimento de água para consumo humano é caracterizado como uma instalação combinada por conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinados à produção e à distribuição canalizada de água. O SAA capta a água da natureza em sua forma bruta, tratando-a adequadamente para que fique em padrão potável, além de ter também como atribuições o transporte e o fornecimento aos consumidores, garantindo suas necessidades (Brasil, 2006). Essas organizações devem ainda, segundo Netto *et al.*, (1973) conciliar os aspectos quantitativos e qualitativos com os aspectos sanitários, econômicos e hidrotécnicos. Desta forma, entende-se que o principal objetivo do SAA é o fornecimento de água potável à comunidade, diretamente em seus domicílios e atendendo às suas necessidades através de quantidades suficientes (Lopes *et al.* 2004).

### 2.2.1 Etapas que compõem o SAA

O Manual de Saneamento, desenvolvido pelo Ministério da Saúde do Brasil (2006) apresenta as partes/etapas que compõe os sistemas de abastecimento de água. Essas partes/etapas estão representadas na (Figura 2.1), e será descrita a seguir. É importante considerar que alguns sistemas serão certamente mais simples, não tendo todos os componentes representados (Alegre, Hirner & Baptista, 2004).

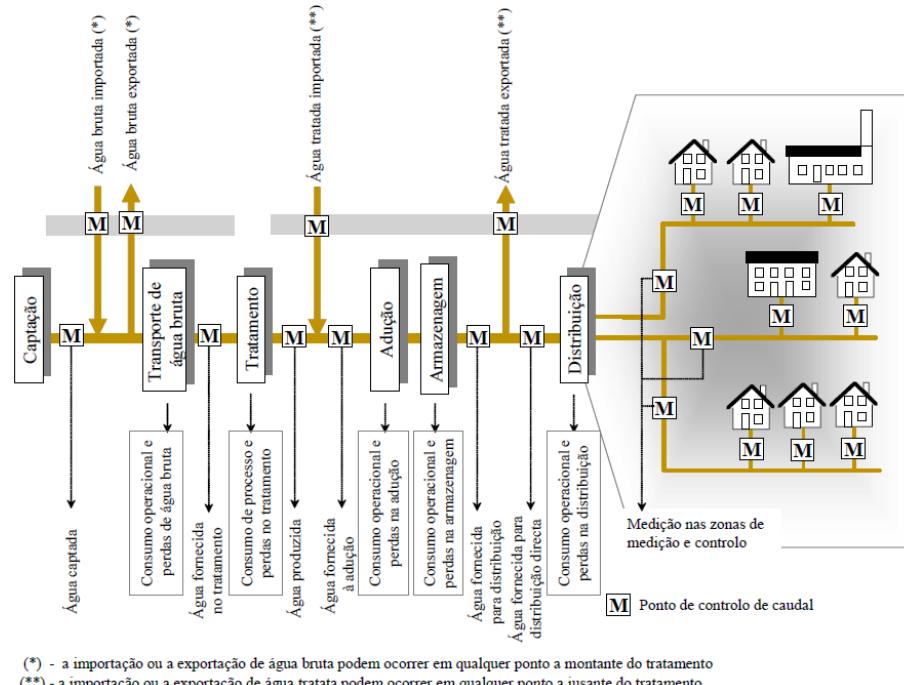


Figura 2.1 - Sistema de Abastecimento de Água

(Fonte: Alegre, Hirner & Baptista, 2004)

- ✓ Manancial: Caracterizado pelo local de onde é retirado a água. Constitui o início do abastecimento do sistema, podendo ser de vários tipos, tais como: subterrâneo freático; poço; subterrâneo confinado (também conhecido como poço profundo, por se apresentar entre as camadas impermeáveis do solo); superficial sem e com acumulação (água de riachos, rios, lagos e reservatórios de acumulação).
- ✓ Captação: Composto pelo conjunto de equipamentos que farão a extração da água dos mananciais, tornando possível o seu transporte;
- ✓ Adução: Refere-se ao transporte da água do manancial, interligando as unidades de captação e tratamento, até a rede de distribuição. De acordo com o tipo de água que está sendo transportada, pode ser classificada como adutora bruta ou adutora de água tratada. Já em relação às suas características hidráulicas, as adutoras podem ser classificadas como de conduto livre ou conduto forçado, seja ele por gravidade ou em recalque (quando precisa de energia mecânica);
- ✓ Tratamento: está associado à característica qualitativa da água, que através de uma série de processos químicos e físicos, tem o objetivo de tornar a água bruta apropriada para o consumo da população. Os padrões de consumo devem seguir o que diz a Portaria MS nº 518/2004.
- ✓ Reservação: depois de tratada, a água é bombeada até reservatórios para que fique à disposição da rede distribuidora. É nesta etapa que se realiza a compensação entre as vazões de produção e consumo.
- ✓ Distribuição: trata-se da parte final do sistema, onde a água é efetivamente entregue ao consumidor, por meio de tubulações, conexões e peças apropriadas que são localizadas em logradouros públicos.

### 2.3 Crise hídrica

Segundo Freitas & Santos, (1999), dados da Organização Meteorológica Mundial, avalia que o consumo de água obteve um aumento de mais de seis vezes em menos de um século em todo o mundo, considerando este aumento duas vezes maior que a taxa de crescimento da população. O uso intenso, sem os devidos cuidados, coloca em risco a disponibilidade deste precioso recurso gerando problemas de escassez em muitas regiões e países. A água existe, mas, devido a um mau uso e uma gestão inadequada, encontra-se cada

vez mais comprometida (Esterci, 2008). A necessidade pelo consumo de água para o desenvolvimento das atividades humanas, seja ela, para o consumo próprio ou no processo produtivo em geral, vem aumentando significativamente, enquanto a quantidade de água própria para satisfazer esta necessidade não aumenta.

Augusto *et al.* (2012) descrevem o Brasil como sendo o maior depositário natural de águas doce do planeta, cabendo a ele uma responsabilidade que ultrapassa sua própria fronteira. Ainda segundo os autores, os problemas sociais relacionados com a água, que compreende desde a carência absoluta até o desperdício, está presente em todo território nacional.

As secas prolongadas, típicas do semiárido Nordestino, segundo Buriti & Aguiar (2008), acompanham uma trajetória histórica nas gerações de homens e mulheres que se sucederam nesse espaço e que criaram/desenvolveram características múltiplas para assegurar a sua sobrevivência em meio a essas especificidades climáticas. A escassez de água que aflige esta região ainda é um drama social, principalmente durante os longos períodos de estiagem, obrigando aos que vivem nela ter que realizar longas e sacrificantes caminhadas em busca deste bem essencial à sobrevivência.

A interpretação para a seca, de acordo com Campos & Studart (2001) depende do ponto de vista de cada observador, podendo ser oriundas de consequências climáticas, tais como:

- ✓ Elevação da temperatura das águas do Oceano Pacífico;
- ✓ Pouca força que algumas massas de ar úmido possuem;
- ✓ Insuficiência ou distribuição irregular das chuvas; e
- ✓ Insuficiência de águas nos rios ou reservatórios.

Porém só esses fatores climáticos não são motivos suficientes para explicar toda a miséria da seca. Por exemplo, Cruz & Godoy (2016) destacam que a escassez da água além de ser quantitativa, quando está relacionada ao uso abusivo de água, é também qualitativa, acarretada pelo lançamento indevido de matérias na água totalmente em desacordo com os padrões ambientais definidos por lei. E ainda existem problemas sociais como a falta de planejamento político governamental que gera dificuldades para todos que habitam nessas regiões.

## 2.4 Gestão dos recursos hídricos

Segundo Little (2006), a palavra “gestão” remete às palavras gerir, gerenciar, administrar, entretanto estas palavras estão mais envolvidas com planos empresariais ou governamentais, mas também se aplicam à administração de ecossistemas e recursos naturais.

Lopes & Colaboradores (2004) ressaltam sobre a importância da existência de estudos que avaliem a capacidade de atendimento e previsão de demanda de água. Sabe-se que a pouca disponibilidade da água e o grande crescimento na demanda são dois fatores que estão cada dia mais atrelados à escassez. Estes estudos auxiliarão na tomada de decisão diante de problemas técnicos na captação ou na estação de tratamento, tendo como parâmetro principal o estudo das previsões de adensamento populacional urbano, em função do aumento populacional que acontece a cada ano. Castro & Scariot (2016), avaliam a importância da gestão dos recursos hídricos, porque estes afetam aspectos econômicos relacionados à produção de alimentos, saúde, segurança do abastecimento doméstico de água, esgotamento sanitário, indústria, energia e sustentabilidade ambiental.

No Brasil, percebe-se que a urbanização acontece de forma acelerada e geralmente sem um planejamento adequado e há falta de investimentos em infraestrutura para os sistemas hídricos e territoriais, principalmente os relacionados à saneamento (Braga & Ferrão, 2015). Em muitos países, a escassez de água é atingida rapidamente à medida que as populações e as atividades econômicas crescem (Barros & Amin, 2008). Clarke & King (2005) contribuem, mostrando que a carência de água representa uma das principais barreiras para o desenvolvimento e uma das razões primordiais no aumento da pobreza nos países. As demandas por água foram observadas por Cruz & Godoy (2016) que concluíram, em seus estudos, que estas estão aumentando ligeiramente, com utilização entre 70 a 80% voltada para a irrigação, menos de 20% utilizada na indústria e cerca de 6% para consumo doméstico. Através destes dados os autores também apontam para a necessidade de criação de planos voltados para a utilização, conservação, manejo sustentável e racional de recursos hídricos baseados nas necessidades e prioridades da comunidade.

Os centros de distribuição de água nos municípios devem estar atentos ao desenvolvimento de métodos que auxiliem na gestão das águas, buscando gerenciar sua demanda com sua disponibilidade de recursos, além de ter métodos de controles das perdas de água em seus sistemas de distribuição, sendo este último, outro fator importante que contribui para a escassez de água.

## 2.5 Benefício em redução das perdas em SAA

Um dos pontos importantes que pode auxiliar na economia deste recurso, é o cuidado com as perdas de água. É importante para uma gestão eficiente que, em primeiro lugar, os centros de distribuições possuam um controle quanto à essas perdas, que podem ser entendidas como a diferença que existe entre o volume de água produzido, comparado ao volume de água em que é faturado, podendo ainda ser classificadas como perdas físicas, quando, por falha no sistema de distribuição, a água não chega ao consumidor final, e perdas não físicas, que são aquelas que são consumidas, mas não são contabilizadas. Martínez, Conejos & Vercher (1999) consideram que as perdas de água podem chegar aproximadamente a 50% do volume total aduzido.



*Figura 2.2 - Perdas de Água nos SAA*

(Fonte: Adaptado de Silva & Conejo, 1998)

Ainda sobre as perdas físicas, podemos classificá-las como visíveis ou inerentes. Reis *et al.* (2003) definem como detectáveis as perdas visíveis, podendo ser facilmente reparadas, enquanto que as perdas inerentes possuem uma complexidade maior para detecção e consequentemente o seu reparo é mais demorado. Para as perdas de água não físicas, Silva & Conejo (1998) definem como aquelas originadas por ligações clandestinas, hidrômetros defeituosos ou outra forma em que o fornecimento da água não é contabilizado, na Figura 2.2 pode ser observado um fluxograma onde são apresentados alguns tipos de perdas físicas e não físicas.

Quando os órgãos de distribuição de água possuem um controle quanto as perdas de água, há uma considerável redução na necessidade de produção da água tratada para o abastecimento do consumidor, gerando assim tanto uma economia do bem de consumo como a redução dos custos operacionais na produção da água potável. Mesmo sabendo a importância deste fator para a mitigação do desperdício da água, sabe-se que as prestadoras de serviço SAA não investem na redução das perdas, a precariedade nas condições físicas de abastecimento de água, através de redes antigas, ou até mesmo a falta de vistoria no uso clandestino da água contribui para o aumento desse problema, sendo este outro fator agravante no aumento da escassez de água.

Apresentados os principais pontos que envolvem o problema da crise hídrica e a necessidade de solução para o mesmo, a engenharia dispõe de estudos voltados a resolução destes tipos de problemas, que podem ser modelados como problemas de maximização ou minimização de certo objetivo. Encontrar soluções ótimas, ou mesmo aproximadas, para esses tipos de problemas é um desafio, por isso na próxima seção será apresentada a metodologia utilizada para resolução do problema abordado neste trabalho.

## 2.6 Metodologias de solução para problemas de otimização combinatória

Como dito, o problema de distribuição abordado neste trabalho será tratado como um problema de otimização combinatória, tendo em vista que é uma ciência que permite a análise e otimização de situações em uma ampla área de aplicação. Conforme Du & Pardalos (1999), a Otimização Combinatória pode modelar problemas que vão desde a engenharia e ciências da computação à economia e biologia. Existe na literatura várias metodologias que podem ser utilizadas para aplicação na solução de problemas dessa natureza (de otimização combinatória), essas são geralmente classificadas entre: Métodos Exatos e Heurísticas.

Os Métodos Exatos garantem uma solução ótima para problemas combinatórios. Entre estes, destacam-se os algoritmos de Ramificação e Poda, os quais são aplicados definindo estratégias que resolvem subproblemas através das suas iterações, limitando o espaço de busca até chegar a uma solução ótima. Nesses algoritmos, a cada iteração expande-se uma árvore particionando o espaço de soluções, criando problemas mais restritos e sendo capaz de identificar os nós da árvore que levará a solução ótima (Goldberg & Luna, 2005; Wolsey, 1998).

Para Maniezzo *et al.* (2010), as heurísticas procuram identificar rapidamente quais seriam as soluções viáveis, utilizando para isso as informações do próprio problema, sem oferecer nenhuma garantia de otimalidade. Em geral as heurísticas possuem características individualizadas para cada problema, assim um método trabalhado para um problema pode não ser adequado para solução de outro (Ehrhart & Gandibleux, 2000). Dentre as heurísticas aplicadas na solução de problemas de otimização combinatória, foi escolhido como metodologia para solução do problema, o Recozimento Simulado, que tem ganhado grande destaque devido a sua facilidade de aplicação e sua capacidade de gerar bons resultados.

### 2.6.1 Recozimento Simulado

O Recozimento Simulado, na otimização combinatória, foi desenvolvido por Kirkpatrick *et al.* (1983) sendo posteriormente aperfeiçoada por Cerny (1985). Esse método, segundo Youssef *et al.* (2001), foi derivado de processos de recozimento de sólidos (Metropolis *et al.*, 1953).

De acordo com Ignacio *et al.* (2000), recozimento é um termo que se refere ao processo térmico iniciado com a liquefação de um cristal, levando-o até um ponto de solidificação através da diminuição de temperaturas em que o cristal é submetido. Baskent & Jordan (2002) explicam que esta técnica busca uma solução ótima para problemas de Otimização Combinatória explorando interativamente novas áreas no espaço de soluções do problema, onde é medida pela habilidade em exploração destas áreas com pouco esforço e em pequeno espaço de tempo.

Para Ignacio *et al.* (2000) o Recozimento Simulado pode ser considerado um algoritmo de busca local, que de forma aleatória escolhe um novo elemento na vizinhança, seu fluxograma será apresentado na (Figura 2.3). Neste método, é utilizada uma probabilidade de aceitação que permite priorar a solução a cada iteração logo, ao diminuir esta probabilidade, a

solução ótima (ou sub-ótima) está próxima. O Recozimento Simulado utiliza poucas informações do problema, apenas a variação do valor obtido da função objetivo, sendo isto uma desvantagem deste método (Pereira, 2004).

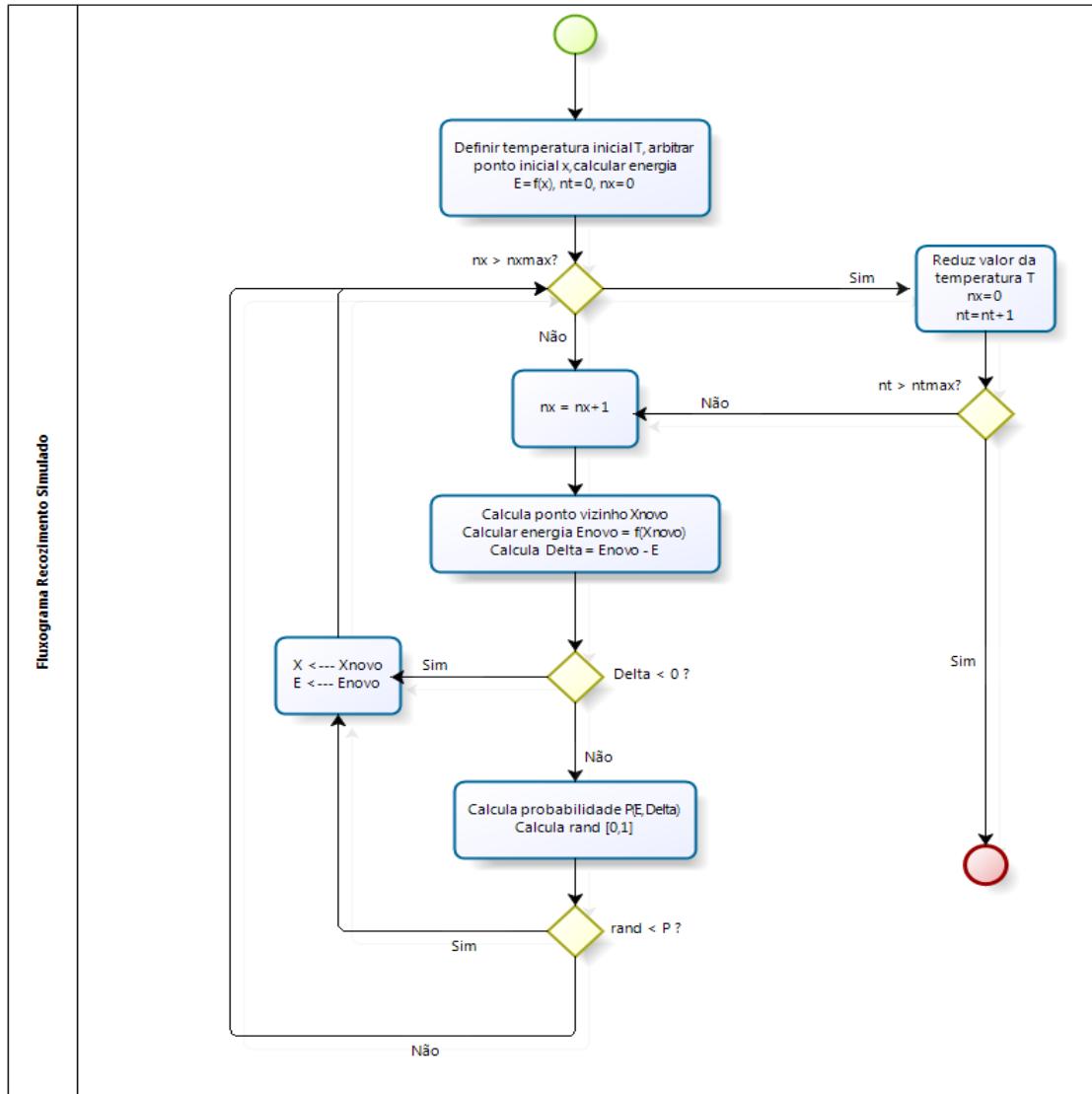


Figura 2.3 - Fluxograma Recozimento Simulado

Ao utilizar o método, novas soluções são encontradas para o problema, mas a aceitação ou não dessas soluções depende do critério de Metropolis (Metropolis et al. 1953). Se a solução encontrada for viável, ela será aceita e se tornará o novo centro de busca, senão, ela ainda poderá ser aceita se atender ao critério que é baseado na função de probabilidade:

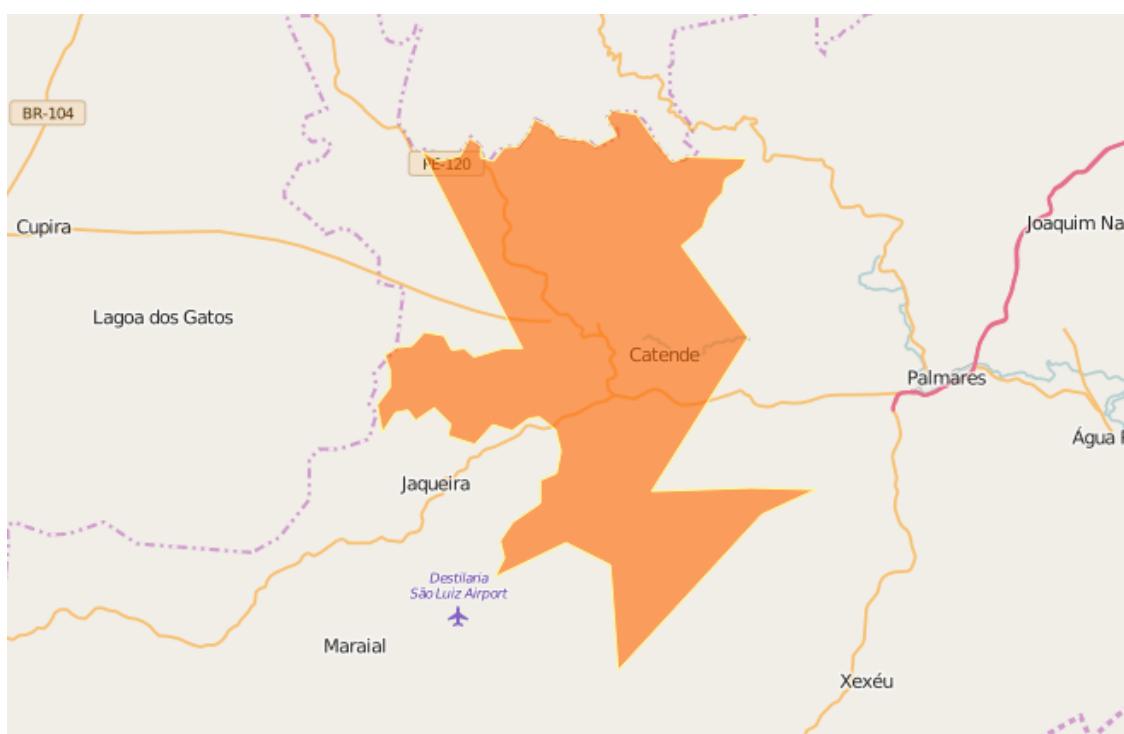
$$\mathcal{P} = \exp\left(\frac{-\Delta f}{T}\right) \quad (2.1)$$

Onde:  $\mathcal{P}$  é a função que aceita a nova solução que foi gerada aleatoriamente;  $\Delta f$  é a variação da função objetivo; T é o parâmetro da temperatura que mede a probabilidade de piora da função objetivo. Se o resultado de  $\mathcal{P}$  for maior que um número entre zero e um, esta solução será então aceita, caso contrário permanece a solução anterior e um decrescimento é realizado em T devido ao fator de redução. O algoritmo para quando o critério de parada é atendido.

### 3 ESTUDO DE CASO

#### 3.1 Situação político-geográfica de Catende

A Cidade de Catende, onde está localizado o SAA objeto de estudo do presente trabalho, está localizada na Zona Mata Sul do interior de Pernambuco e possui uma área total de 207,244 km<sup>2</sup>. Segundo dados do IBGE (2016), através do último grande Censo realizado em 2010, a população da cidade de Catende é de 37.820 habitantes. Destes, 28.861 estão localizados na área urbana (Figura 3.1). A estimativa divulgada pelo IBGE para a população de Catende para o ano de 2016 é de 41.865 habitantes.



*Figura 3.1 - Limite Territorial de Catende*

(Fonte: IBGE, 2016)

#### 3.2 Sistema de abastecimento de água em Catende

Na cidade de Catende, a captação da água é realizada nos açudes de Santa Rita (Figura 3.2) e Bálsmo das Freiras. O açude de Santa Rita é localizado no distrito de Roçadinho, com um volume máximo de armazenamento de 2.500.000 m<sup>3</sup> de água. Já o açude de Bálsmo das Freiras fica localizado na divisa entre Catende e o Município de Jaqueira, com um volume

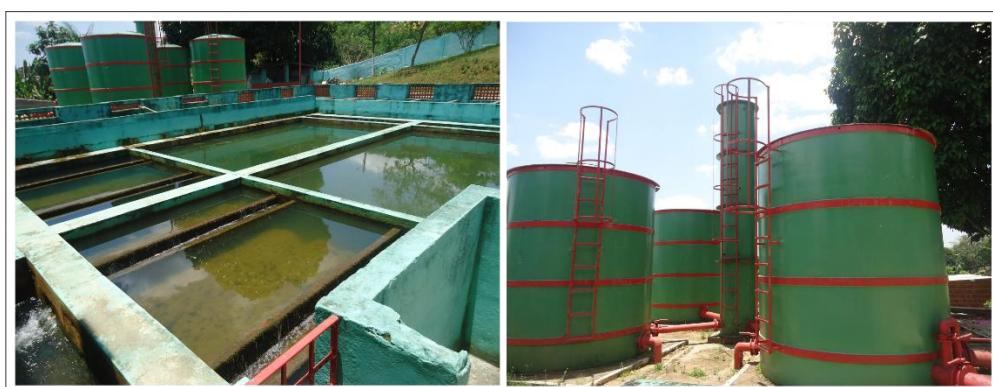
máximo de armazenamento de 1.500.000 m<sup>3</sup>.



*Figura 3.2 - Açude Santa Rita*

(Fonte: Arquivo SAAE Catende, 2015)

O tratamento da água é realizado de forma convencional e mecânico (Figura 3.3) suas etapas de produção são realizadas no ETA – Catende (Figura 3.4). A Captação de água é realizada nos açudes chegando à estação de tratamento por gravidade, com uma vazão média de 67 l/s do açude Santa Rita a água segue para o tratamento convencional, e com uma vazão de 35 l/s, a água do Açude Bálsmo das Freiras é direcionada para a estação de tratamento mecânico.



*Figura 3.3 - Estações de Tratamento de Água - Convencional e Mecânica*



Figura 3.4 - ETA Catende

Para a água captada no Açude Santa Rita, o processo de tratamento da água bruta após a adução segue para as fases de tratamento, sendo recebida na ETA através de canaletas, passando por um medidor de vazão denominado “Calha Pashall”. Nesta calha são adicionados sulfato de alumínio e cloro (Figura 3.5) auxiliando nas etapas de coagulação, onde ocorrem reações químicas com as partículas que estão suspensas na água bruta. Nesta fase, a água passa por compartilhamentos chamados floculadores, em que os reagentes adicionados transformam as impurezas em partículas maiores para serem removidas na decantação.

A água, então floculada, segue para outra fase, atravessando por camadas maiores denominadas decantadores, onde os flocos formados são depositados em módulos tubulares parecidos como uma colmeia, tornando a água em um estado quase apropriado para o consumo. Nestas etapas do tratamento há uma eliminação de quase todos os fatores de contaminação, a filtração ocorre em seguida para melhorar ainda mais a água decantada que, por gravidade, atravessa os filtros constituídos de um meio poroso com a capacidade de reter e remover as impurezas ainda existentes na água. Na desinfecção são utilizados agentes físicos ou químicos, como o cloro, utilizados para a destruição de organismos patogênicos que

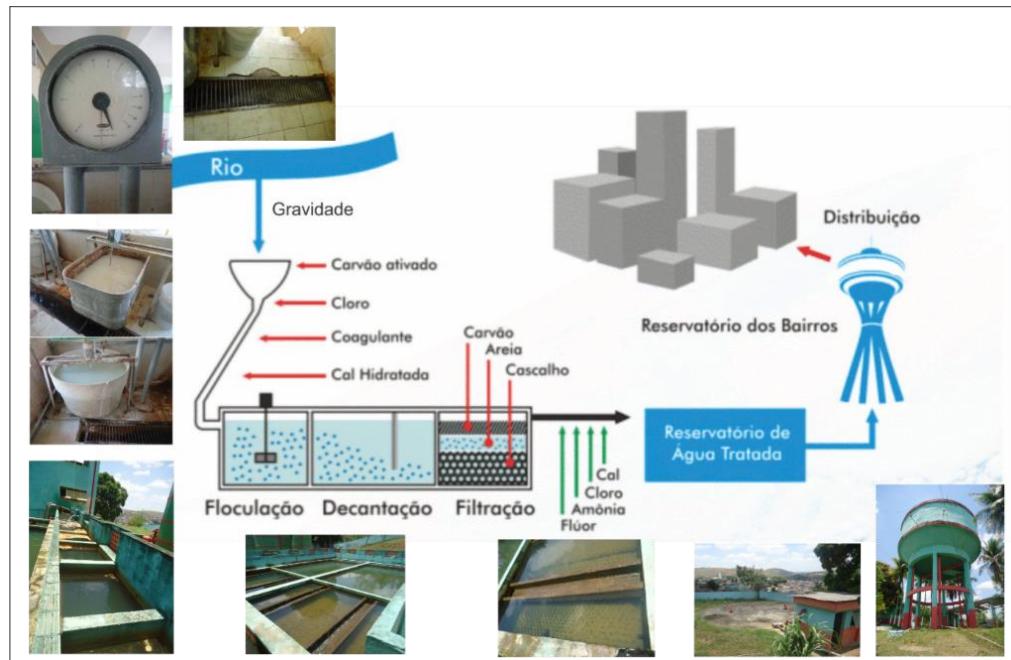
causam doenças, finalizando com a correção de pH, onde também são adicionados produtos para que a água tratada esteja com pH adequado para o consumo. O tratamento é realizado em fluxo contínuo sendo sua água após tratada depositada em um reservatório do tipo apoiado com capacidade de 500.000 m<sup>3</sup> de armazenamento.



*Figura 3.5 - Calha de Parshall, adição de cloro e sulfato de alumínio*

A água captada do Açude de Bálsmo das Freiras é tratada em filtros mecânicos, onde a adição dos produtos químicos é realizada automaticamente. O despejo da água tratada nesses filtros também é realizado no reservatório central. A Figura 3.6 ilustra as etapas de tratamento descritas anteriormente para melhor entendimento do processo de tratamento do tipo convencional.

O SAA tem como sua principal finalidade, a distribuição de água potável em uma comunidade, com fim voltado ao consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial entre outros usos. Hoje, devido às grandes crises referentes à escassez de água nos mananciais, o abastecimento de água está cada vez mais comprometido, refletindo na sociedade como um todo, devido ao grau de importância que a água tem na vida das pessoas, assim, é importante que haja um processo contínuo de melhoria no abastecimento.



*Figura 3.6 - Etapas de Tratamento de Água - Tipo convencional*

(Fonte: Adaptado da Página da Sanasa Campinas, 2016)

Paganine (2013) mostra que, através de dados obtidos através da ONU (Organização das Nações Unidas), 110 litros de água por dia são suficientes para atender as necessidades básicas de uma pessoa. Em entrevistas realizadas aos administradores do SAA em Catende, foi informado que o consumo médio por habitante na cidade é em torno de 200 litros por dia. Desta forma, através da população obtida da cidade de Catende segundo dados do IBGE (2016) realizado no Censo de 2010, seriam necessários em média 7.564,000 litros de água por dia para atender a população.

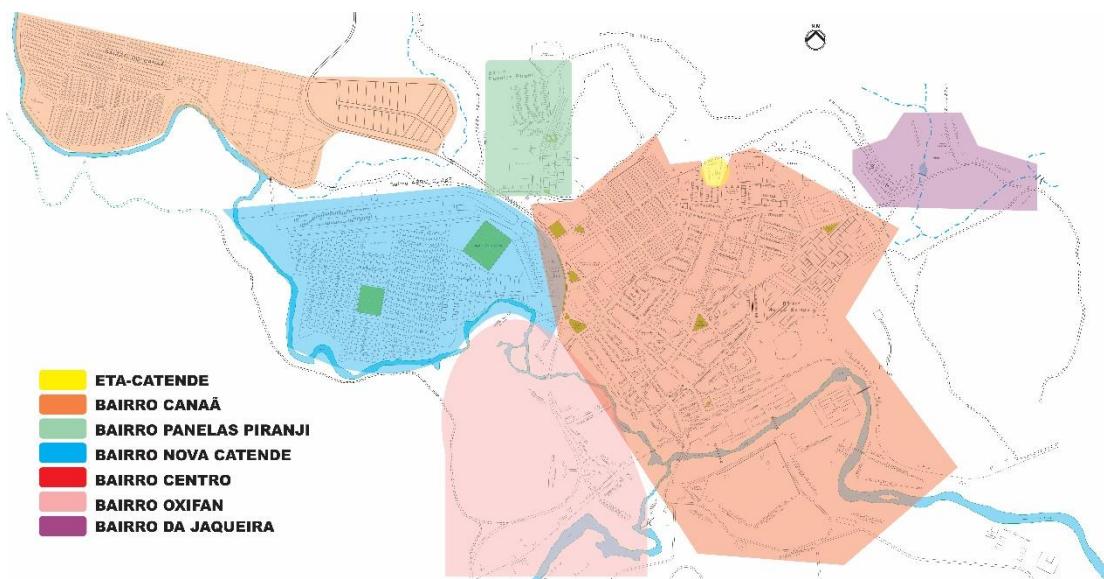
Observa-se então, que o dimensionamento das redes de distribuição é, sem dúvida, um processo complexo e que pode resultar em ineficiências do atendimento das demandas ou prejuízos econômicos quando mal dimensionados. Através de levantamentos de dados e entrevistas realizadas no SAA em Catende, foi possível descrever como é feita a atual gestão dos recursos hídricos disponíveis para os bairros da cidade que será descrita detalhadamente na próxima seção.

### 3.3 Distribuição de água em Catende

Para que os recursos hídricos cheguem às unidades consumidoras dos bairros mais distantes do SAA, através de estudos de capacidade e considerando o aumento populacional, a empresa distribuidora identificou a necessidade de instalação de reservatórios que sirvam

como ponto de distribuição da água para determinados setores. Desta forma a cidade foi dividida em 6 setores. A Figura 3.7 mostra o mapa de Catende e sua divisão por setores de abastecimento, conforme indicado pelos gestores do SAA.

A água tratada no ETA/Catende é depositada em um reservatório central do tipo apoiado, que tem uma capacidade de 500.000 m<sup>3</sup> (Figura 3.8). Deste reservatório é distribuído para mais um reservatório do tipo elevado com capacidade de 400.000 m<sup>3</sup> (Figura 3.8), ambos localizados no SAA. Cabe ao reservatório elevado a distribuição da água aos bairros Nova Catende e Jaqueira. Este reservatório recebe água do central através de bombeamento, mas distribui para os bairros citados através da força gravitacional.



*Figura 3.7 - Mapa de Catende por setores de abastecimento*

(Fonte: Adaptado de Arquivos da Prefeitura Municipal de Catende, 2016)



*Figura 3.8 - Reservatórios Apoiado e Elevado*

O reservatório central além de fornecer para o reservatório elevado (no SAA), também abastece mais três reservatórios do tipo apoiado nos bairros Panelas Piranji, Canaã e Oxifan, com uma capacidade de armazenamento de 100.000 m<sup>3</sup>, 180.000 m<sup>3</sup> e 20.000 m<sup>3</sup> respectivamente, com auxílio de dois pares de bombas para os dois primeiros setores citados, sendo o terceiro abastecido também pela força gravitacional. É deste reservatório central que o centro da cidade recebe água através da força gravitacional, por estar diretamente ligada ao SAA. A Figura 3.9 mostra uma representação da rede de abastecimento de água descrita acima. Atualmente, para abastecimento de água em Catende, a empresa deixa as válvulas que controlam o fluxo de distribuição permanentemente ligadas, mantendo um fluxo continuo deste recurso, sendo o fornecimento interrompido apenas para manutenção dos filtros de tratamento ou na rede de distribuição.

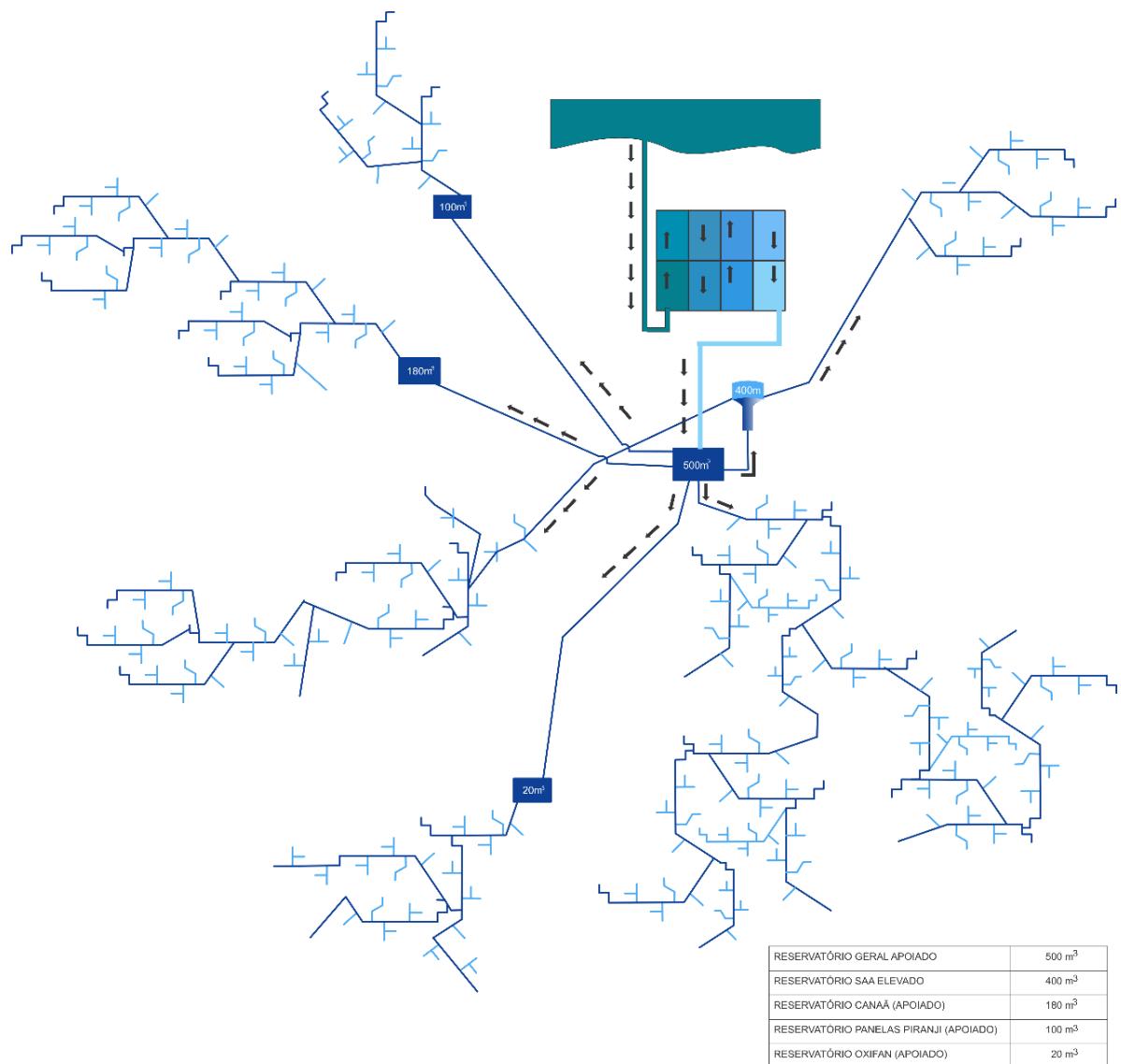


Figura 3.9 - Esquema de Distribuição de Água em Catende

### 3.4 Demanda das unidades consumidoras

Através das visitas realizadas no SAA de Catende, foi possível obter informações sobre a capacidade de produção diária e a quantidade de domicílios atendidos separados pelos setores de fornecimento. A Tabela 3.1 mostra a demanda de água para cada setor (bairro), onde a quantidade necessária de água por unidade domiciliar foi definida considerando que em cada domicílio reside em média 3,9 habitantes (média estabelecida pelo IBGE, (2016) através do último grande censo demográfico de 2010). As informações sobre a quantidade de domicílios/setor e o consumo médio de água por habitante foram fornecidas pelos gestores do SAA, considerando o uso médio de 200 litros de água por habitante. Foi informado ainda que quase 100% dos domicílios possuem reservatórios que variam entre 500 e 1000 litros. Estes são acionados quando a água não é fornecida, seja por manutenção na rede de distribuição, ou em períodos que a vazão de água para o tratamento está baixa, limitando assim o fornecimento diário.

*Tabela 3.1 - Demanda diária de Água por Setor*

Setor de Abastecimento	Quant. Domicílios Abastecidos	Quant. Médio de Habitantes	Consumo médio Necessário (lts)
Centro	<b>5431</b>	<b>21180</b>	<b>4.236.000</b>
Nova Catende	<b>1043</b>	<b>4068</b>	<b>713.600</b>
Jaqueira	<b>976</b>	<b>3806</b>	<b>761.200</b>
Panelas Piranji	<b>459</b>	<b>1790</b>	<b>358.000</b>
Canaã	<b>1538</b>	<b>5998</b>	<b>1.199.600</b>
Oxifan	<b>135</b>	<b>526</b>	<b>105.200</b>
<b>TOTAL</b>	<b>9582</b>	<b>37.368</b>	<b>7.473.600</b>

Embora Catende esteja localizada em uma região que não sofre tanto com a falta de água, foi observada durante os anos, uma baixa considerável em seus mananciais, alertando à população e os gestores sobre a necessidade em se economizar tal recurso. A capacidade produtiva de água tratada, quando a captação nos mananciais está no limite máximo, é de 288.000 litros de água por hora, desta forma, em 24 hs é possível encher 13,8 reservatórios de

500.000 m<sup>3</sup>. Observando a demanda diária total requerida, conclui-se que a capacidade produtiva não atende à necessidade diária da população.

### 3.4.1 Problema de distribuição de água em momentos de escassez

O problema de distribuição de água em momentos de escassez, se dá na necessidade de criar um horizonte de planejamento para a distribuição de forma equilibrada para os setores, considerando sua demanda e a capacidade de produção diária por turno para um período. Ainda, deve-se considerar o saldo distribuído nos turnos anteriores, e para esses momentos de crise, o cálculo de consumo diário deve ser então baseado nos valores mínimos para a sobrevivência humana (110 litros diários, conforme definido pela ONU). É importante levar em conta a existência dos reservatórios nas unidades consumidoras, que pode ser entendido como um estoque de segurança. A Tabela 3.1 mostra os valores de consumo médios necessários ajustados, que serão usados na resolução do modelo para criação do calendário já considerando um longo período de seca.

*Tabela 3.2 - Demanda diária de Água por Setor, necessidade estabelecida pela ONU*

Setor de Abastecimento	Quant. Domicílios Abastecidos	Quant. Médio de Habitantes	Consumo médio Necessário (lts)
Centro	<b>5431</b>	<b>21180</b>	<b>2329.800</b>
Nova Catende	<b>1043</b>	<b>4068</b>	<b>447.480</b>
Jaqueira	<b>976</b>	<b>3806</b>	<b>418.660</b>
Panelas Piranji	<b>459</b>	<b>1790</b>	<b>196.900</b>
Canaã	<b>1538</b>	<b>5998</b>	<b>659.780</b>
Oxifan	<b>135</b>	<b>526</b>	<b>57.860</b>
<b>TOTAL</b>	<b>9582</b>	<b>37.368</b>	<b>4110.480</b>

## 4 PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA

### 4.1 Modelo Matemático

O modelo matemático, que será apresentado a seguir, foi construído com a proposta de buscar garantir que a quantidade de abastecimento de água realizado diariamente seja próxima à quantidade ideal necessária em cada setor. O modelo foi construído genericamente, observando a forma de abastecimento realizada na cidade estudada e pode ser usado em outros municípios com semelhantes sistemas de distribuição de água. Para formular o modelo matemático do problema de distribuição, serão apresentadas definições e notações dos conjuntos de índices, parâmetros e variáveis de decisão, conforme a seguir:

Dado que:

$NS$  representa o número de setores considerados;

$i$  representa o índice referente a cada setor,  $i = 1, \dots, NS$ ;

$NDP$  representa o número de dias do período considerado;

$j$  representa o índice referente a cada dia desse período,  $j = 1, \dots, NDP$ ;

$NTD$  representa o Número de Turnos Diários considerado;

$k$  representa o índice referente a cada turno,  $k = 1, \dots, NTD$ ;

$NT$  representa o Número Total de Turnos em dado período,  $NT = NTD \times NDP$

$t = f(j, k)$  representa o índice referente a cada turno do período,

$$\text{onde } t = (j - 1) NTD + k, t = 1, \dots, NT$$

$Q_{ji}$  representa a quantidade total de água necessária para o setor  $i$  no dia  $j$ .

Se  $Q_{ji} = Q_i$  para todo  $j$ , então  $Q_i = Q_{ji}$  é a quantidade diária de água necessária para setor  $i$ .

$R_{jki}$  representa a variável de decisão que define a quantidade de água fornecida ao setor  $i$  no  $k$ -ésimo turno do dia  $j$ .

Se  $R_{jki} = R_i$  para todo  $k$  e  $j$ , então  $R_i$  é a quantidade fornecida em um turno de abastecimento para o setor  $i$ . Nesse caso,  $R_{jki}$  pode ser relacionada à variável binária de decisão  $X_{jki}$ , de acordo com a seguinte equação:

$$R_{jki} = X_{jki} R_i, \quad \text{onde } X_{jki} \begin{cases} 1, & \text{se a quantidade } R_i \text{ de água é fornecida} \\ & \text{ao setor } i \text{ no } k - \text{ésimo turno do dia } j. \\ 0, & \text{se nesse turno não é fornecida água a} \\ & \text{esse setor.} \end{cases}$$

$NR$  representa o número total de reservatórios considerados

$r$  representa o índice de cada reservatório.

$C_r$  representa a capacidade do reservatório  $r$ .

A variável binária  $X_{jkr}$  também pode ser aplicada aos reservatórios, onde:

$$X_{jkr} = \begin{cases} \mathbf{1}, & \text{se a quantidade } R_r \text{ de água é fornecida} \\ & \text{ao reservatório } r \text{ no } k - \text{ésimo turno no dia } j. \\ \mathbf{0}, & \text{se nesse turno não é fornecida água a} \\ & \text{esse reservatório.} \end{cases}$$

$S_r$  representa o conjunto de setores que recebem água diretamente do reservatório  $r$ .

$J_r$  representa o conjunto de reservatórios que recebem água diretamente do reservatório  $r$ .

$QD_{tr}$  representa a quantidade total de água distribuída no turno  $t$  pelo reservatório  $r$ , onde:

$$QD_{tr} = \sum_{i \in S_r} X_{jki} R_i + \sum_{r \in J_r} X_{jkr} R_r$$

$NM$  representa o número total de mananciais considerados.

$m$  representa o índice referente a cada manancial,  $m = 1, \dots, NM$

$F_m$  representa a quantidade total fornecida em um turno pelo manancial  $m$

$M_r$  representa o conjunto de mananciais que fornecem água para o reservatório  $r$ .

$F_{tr}$  representa a quantidade de água fornecida ao reservatório  $r$  no turno  $t$ , onde:

$$F_{tr} = \sum_{m \in M_r} F_m, \text{ para reservatório principal.}$$

$$F_{tr} = X_{jkr} R_r, \text{ para os reservatórios secundários.}$$

$A_{tr}$  representa a quantidade armazenada de água no reservatório  $r$  no turno  $t$ , Onde:

$$A_{tr} = A_{(t-1)r} + F_{tr} - QD_{tr}$$

$E_i$  representa o excedente total de água fornecida no setor  $i$ , no período considerado.

$$E_i = \sum_{j=1}^{NDP} (\sum_{k=1}^{NTD} R_{jki} - Q_{ji}), \text{ Onde}$$

$\sum_{j=1}^{NDP} \sum_{k=1}^{NTD} R_{jki}$  e  $\sum_{j=1}^{NDP} Q_{ji}$  representam, respectivamente as quantidades totais fornecidas e necessárias para o setor  $i$  no período considerado.

Assim,  $E\%_i$  representa o excedente percentual do setor  $i$ , onde:

$$E\%_i = \frac{E_i}{\sum_{j=1}^{NDP} Q_{ji}}$$

Assim sendo, o excedente percentual médio dos setores,  $E \% \text{ médio}$ , é definido por:

$$E \% \text{ médio} = \frac{\sum_{i=1}^{NS} E\%_i}{NS}$$

Logo, A formulação matemática para o problema será dado por:

$$\text{Minimizar} \sum_{i=1}^{NS} (E\%_i - E\% \text{ médio}) \quad 4.1$$

Sujeito à:

$$A_{tr} \geq 0 \quad \text{para } t = 1, \dots, NT \text{ e } r = 1, \dots, NR \quad 4.2$$

$$A_{tr} \leq C_r \quad \text{para } t = 1, \dots, NT \text{ e } r = 1, \dots, NR \quad 4.3$$

$$X_{jkr} \in \{0,1\} \text{ e } X_{jki} \in \{0,1\} \quad 4.4$$

$$\text{Para } j = 1, \dots, NDP; k = 1, \dots, NTD;$$

$$r = 1, \dots, NR \text{ e } i = 1, \dots, NS$$

A função objetivo (4.1), calcula o somatório da eficiência percentual de cada setor, que é a diferença do que foi fornecido pelo que é necessário para abastecimento do setor. Desta forma quanto menor for essa diferença significa que o setor foi atendido quase a sua necessidade.

A restrição (4.2) assegura que a quantidade armazenada de água no reservatório  $r$  no turno  $r$  seja no mínimo 0 (zero). A restrição (4.3) garante que a quantidade armazenada de água no reservatório  $r$  no turno  $t$  seja menor ou igual que a capacidade do reservatório, as restrições (4.4) definem a natureza das variáveis.

## 4.2 Metodologia de solução proposta

A metodologia proposta foi desenvolvida com base na heurística Recozimento Simulado, conforme apresentado na seção 2.6.1. Para desenvolvimento do algoritmo proposto, foi necessária a definição da forma como uma solução seria representada, e os critérios (metodologias utilizadas) para geração da solução inicial e para perturbações das soluções. Essas definições, assim como o algoritmo desenvolvido, serão apresentadas a seguir.

### 4.2.1 Representação da Solução

Conforme indicado no modelo matemático proposto (Seção 4.1), as variáveis de decisão aqui consideradas são variáveis binárias que indicam se, em determinado turno, determinado

setor ou reservatório estará (1) ou não (0) recebendo água. Dessa forma uma solução para o problema poderia ser representada pela matriz binária  $X = [X_{ti}]$ , onde  $X_{ti} = 1$ , se o setor ou reservatório  $i$  recebe água no turno  $t$  e  $X_{ti} = 0$ , caso contrário, como mostra a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Representação Binária da Solução

Reservatórios/Setores (receptores)						
Reservatórios Distribuidores		r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>4</sub>	r <sub>5</sub>	s <sub>6</sub>
	r <sub>1</sub>	1	1	0	1	0
	r <sub>2</sub>	1	1			
	r <sub>3</sub>	1				
	r <sub>4</sub>	0				
	r <sub>5</sub>	1				

Contudo, para aplicação do Recozimento Simulado, é importante que algoritmo caminhe através de soluções que são viáveis. Assim sendo, para aplicação do algoritmo proposto, a representação utilizada consiste em uma Lista de Prioridades de Recebimento (LPR) onde, para cada reservatório, são ordenados os setores e reservatórios que recebem água do primeiro, de acordo com a ordem de prioridade de recebimento, como pode ser observado nos Apêndices 2 e 5.

Por exemplo, suponha que, no turno  $t$ , determinado reservatório  $r$  tem inicialmente armazenado 500 litros de água e recebe 10.000 litros de água por turno. Esse mesmo reservatório pode distribuir água para os reservatórios  $R_1$  e  $R_2$  e para os setores  $S_1$  e  $S_2$ , que podem receber 4.000, 3.000, 5.000, 1.000 litros de água por turno, respectivamente. Assim sendo uma possível solução para distribuição de água através desse reservatório seria:

$$LPR_{r1}: (R_1, S_2, S_1, R_2)$$

Esse solução indica a prioridade de recebimento de água para os setores e reservatórios que pertencem aos conjuntos  $S_R$  e  $J_R$ , respectivamente.

Das restrições em 4.2, temos que:

$$A_{(t-1)r} + F_{tr} - QD_{tr} \geq 0$$

Ou ainda:

$$QD_{tr} \leq A_{(t-1)r} + F_{tr}$$

Que indica que a quantidade distribuída pelo reservatório no turno considerado,  $QD_{tr}$ , deve ser menor do que a quantidade de água recebida pelo reservatório nesse turno,  $F_{tr}$ , somada com a quantidade armazenada no final do turno anterior,  $A_{(t-1)r}$ .

Assim sendo, temos que para o exemplo apresentado:

$$QD_{tr} \leq 10.500 \text{ litros}$$

Usando a solução apresentada, compreendemos que, no turno  $t$ , estão recebendo água do reservatório  $r$ , os elementos  $R_1, S_2$ , e  $R_2$ . Nesse caso o reservatório estará distribuindo um total de 8.000 litros de água.

As restrições em 4.3 são utilizadas para ajustar a quantidade de água fornecida pelo reservatório  $r$ , de forma a indicar o momento em que a válvula do reservatório deve ser fechada, evitando vazamentos.

Tendo em vista que um problema pode conter vários reservatórios que distribuem / redistribuem água, e que são considerados vários turnos, uma solução deve apresentar uma Lista de Prioridades de Recebimento para cada reservatório e em cada turno.

#### 4.2.2 Geração da solução inicial

Para construção da solução inicial, para cada reservatório, foi criada uma LPR ordenando, de acordo com os seus respectivos índices, os reservatórios e setores que recebem água diretamente do primeiro, como visto na seção anterior. Essas ordenações foram repetidas para todos os turnos considerados, como pode ser observada no (Apêndice 2) a representação desta lista, de acordo com o programa desenvolvido.

#### 4.2.3 Perturbação e geração de novas soluções

A perturbação da solução foi realizada fazendo a troca da posição de um setor ou reservatório na LPR para determinado turno. Enquanto que o turno escolhido foi selecionado randomicamente, o setor ou reservatório foi escolhido randomicamente, sendo que para este a probabilidade de escolha é sempre diretamente proporcional à eficiência do respectivo setor ou reservatório.

De acordo com este valor, obtido através da solução inicial, é possível determinar com qual vizinho o reservatório/setor trocará de posição. Se o valor for negativo, (significando que o reservatório/setor recebeu menos água do que a quantidade necessária) este, troca de

posição com seu vizinho mais à esquerda, ficando uma posição à frente na LPR. Caso contrário, ele irá trocar de posição com o vizinho mais à direita.

Por exemplo, suponha que o intervalo de eficiência seja entre 0 (zero) e 8 (oito) como mostra a Figura 4.1 e o número gerado randomicamente foi 4 (quatro), de acordo com a figura o reservatório/setor que trocará de posição na Lista de Prioridade de Recebimento é o setor 6, que para o exemplo apresentado trocará de prioridade com seu vizinho da esquerda.

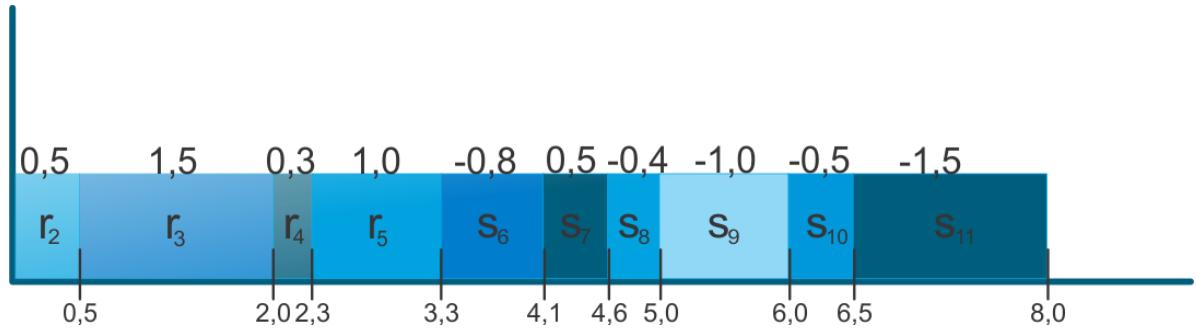


Figura 4.1 - Gráfico das Eficiências

A partir desta nova solução o algoritmo verifica se esta solução é melhor que a anterior, se positivo, está solução irá substituir a anterior dando continuidade ao ciclo, que recomeça em uma nova iteração e mais uma vez a solução é perturbada. Caso a solução não seja aceita o processo segue, passando então para verificação através do critério de Metropolis. Desta forma mesmo que a solução não seja boa, poderá ser aceita, substituindo a anterior e dando prosseguimento ao método para mais uma iteração. Esse ciclo é repetido  $n$  vezes, ou seja, até atingir o critério de parada que no modelo apresentado está definido com o número de iterações ( $n$ ).

### 4.3 Levantamento de dados para teste do modelo

Para realização de testes preliminares do modelo matemático desenvolvido, os dados descritos a seguir foram baseados nas informações obtidas junto aos gestores do SAA/Catende, considerando que algumas informações não são precisas devido à falta de instrumentos (hidrômetros) na organização que pudessem definir com precisão todas as informações necessárias para o modelo construído. Os dados serão apresentados de acordo com as variáveis do modelo descrito na seção 4.1.

- ✓  $NS = 6$ ;
- ✓  $i = 6, \dots, 11$ , onde: 6 – Centro; 7 – Nova Catende; 8 – Jaqueira; 9 – Panelas Piranji; 10 – Canaã e 11 –Oxifan.

- ✓  $NDP = 7$ ;
- ✓  $j = 1, \dots, 7$ , onde: 1 – Segunda; 2 – Terça; 3 – Quarta; 4 – Quinta; 5 – Sexta; 6 – Sábado e 7 – Domingo;
- ✓  $NTD = 3$ ;
- ✓  $k = 1, \dots, 3$ , onde: 1 – Manhã; 2 – Tarde e 3 – Noite;
- ✓  $NT = 21$ ;
- ✓  $t = f(j, k)$ , onde:

Tabela 4.2 - Índice do Turno por Período

Turno		Manhã	Tarde	Noite
Período		$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$
j= 1	Segunda	$t = 1$ (Segunda/Manhã)	$t = 2$ (Segunda/Tarde)	$t = 3$ (Segunda/Noite)
j= 2	Terça	$t = 4$ (Terça/Manhã)	$t = 5$ (Terça/ Tarde)	$t = 6$ (Terça/Noite)
j= 3	Quarta	$t = 7$ (Quarta/Manhã)	$t = 8$ (Quarta/Tarde)	$t = 9$ (Quarta/Noite)
j= 4	Quinta	$t = 10$ (Quinta/Manhã)	$t = 11$ (Quinta/Tarde)	$t = 12$ (Quinta/Noite)
j= 5	Sexta	$t = 13$ (Sexta/Manhã)	$t = 14$ (Sexta/Tarde)	$t = 15$ (Sexta/Noite)
j= 6	Sábado	$t = 16$ (Sábado/Manhã)	$t = 17$ (Sábado/Tarde)	$t = 18$ (Sábado/Noite)
j= 7	Domingo	$t = 19$ (Domingo/Manhã)	$t = 20$ (Domingo/Tarde)	$t = 21$ (Domingo/Noite)

- ✓  $Qji$  = Apresentado na Tabela 4.3

Tabela 4.3 - Quantidade da demanda de água diária/setor - ONU

Setor	Centro	Nova Catende	Jaqueira	Panelas Piranji	Canaã	Oxifan
Período	$i = 6$	$i = 7$	$i = 8$	$i = 9$	$i = 10$	$i = 11$
j= 1,...,7	<b>2.329,000</b>	<b>447,480</b>	<b>418,660</b>	<b>196,900</b>	<b>659,780</b>	<b>57,860</b>

- ✓  $Rjki$  = Apresentado na Tabela 4.4

Tabela 4.4 - Quantidade máxima de água fornecida

Setor	Centro	Nova Catende	Jaqueira	Panelas Piranji	Canaã	Oxifan
Vazão por Setor l/h	<b>167.000</b>	<b>43.200</b>	<b>21.600</b>	<b>14.400</b>	<b>21.600</b>	<b>10.800</b>
Horas por turno	<b>8h</b>	<b>8h</b>	<b>8h</b>	<b>8h</b>	<b>8h</b>	<b>8h</b>
QFT (máxima)	<b>1336.000</b>	<b>345.600</b>	<b>172.800</b>	<b>115.200</b>	<b>172.800</b>	<b>86.400</b>

- ✓  $NR = 5$ ;
- ✓  $r = 1, \dots, 5$ , onde: 1 – Geral; 2 – Elevado SAA; 3 – Panelas Piranji; 4 – Canaã e 5 - Oxifan.
- ✓  $C_r$  = Apresentado na Tabela 4.5

Tabela 4.5 - Capacidade dos reservatórios em litros

$C_1 =$	500.000
$C_2 =$	400.000
$C_3 =$	100.000
$C_4 =$	180.000
$C_5 =$	20.000

- ✓  $S_r$  = Apresentado na Tabela 4.6

Tabela 4.6 - Setores que recebem água diretamente de reservatório "r"

$S_1 =$	{ 6 }, onde i = 6 {Centro}
$S_2 =$	{ 7, 8 }, onde i = 7 , 8 {Nova Catende, Jaqueira}
$S_3 =$	{ 9 }, onde i = 9 {Panelas Piranji}
$S_4 =$	{ 10 }, onde i = 10 {Canaã}
$S_5 =$	{ 11 }, onde i = 11 {Oxifan}

- ✓  $J_r$  = Apresentado na Tabela 4.7

Tabela 4.7 - Reservatórios que recebem água do reservatório "r"

$J_1 =$	{ 2, 3, 4, 5 }, onde r = 2, 3, 4 e 5 {Elevado, Panejas, Canaã e Oxifan}
$J_2 =$	{ $\emptyset$ }
$J_3 =$	{ $\emptyset$ }
$J_4 =$	{ $\emptyset$ }
$J_5 =$	{ $\emptyset$ }

- ✓  $NM = 2;$
- ✓  $m = 1, \dots, 2$ , onde: 1 – Santa Rita e 2 – Balsamo das Freiras;
- ✓  $F_{M1} + F_{M2} = 2.340,000$  litros /turno, cada turno equivalente a 8hs de produção de água;
- ✓  $M_r$  = Apresentado na Tabela 4.8

Tabela 4.8 - Mananciais que fornecem água para o reservatório "r"

$M_1 =$	{ 1, 2 }, onde m = 1, 2 {Sta. Rita, Balsamo das Freiras}
$M_2 =$	{ $\emptyset$ }
$M_3 =$	{ $\emptyset$ }
$M_4 =$	{ $\emptyset$ }
$M_5 =$	{ $\emptyset$ }

## 5 RESULTADO E DISCUSSÕES

### 5.1 Implementação

O Recozimento Simulado aplicado ao modelo matemático desenvolvido, foi implementado na linguagem C++ pela orientadora deste trabalho, utilizando o editor Code::Blocks® que é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), que permite escrever aplicativos para ambiente gráficos ou aplicativos de console em linguagem C ou C++. A ferramenta foi desenvolvida em linguagem C++ por ser muito utilizada na Programação Orientada a Objetos (POO) que é uma forma especial de programar onde existe uma aproximação maior do mundo real, trazendo para a programação o conceito de 'Objetos' (Santos, 2015).

### 5.2 Resultados

Para validação do modelo e do aplicativo proposto, foram utilizados os dados levantados anteriormente e apresentados na seção 4.3. Através destes testes, foi possível definir um calendário de abastecimento de água para os setores. Os dados de entrada foram obtidos no SAA e representam a atual situação dos recursos hídricos e da demanda. A simulação foi realizada considerando a quantidade de água definida pela ONU como suficiente para a sobrevivência humana.

Outros testes foram simulados, dado a importância na validação do modelo desenvolvido e a possibilidade de comparar a eficiência em cada teste realizado. Todos os testes serão apresentados nos Apêndices deste trabalho, bem como o planejamento (calendário) obtido a partir dos resultados. As ilustrações contidas nos Apêndices são os arquivos de saída gerados pelo programa.

Após inserir todas as informações necessárias apresentadas no Apêndice 1, o programa apresentará a LPR para os reservatórios em todos os turnos do período definido para o teste (Apêndice 2), em seguida o programa gera a primeira solução representada binariamente (Apêndice 3) seguida da quantidade de água fornecida aos reservatórios e a quantidade de água armazenada ao final de todos os turnos do período testado (Apêndice 4).

Esta primeira solução gera uma eficiência aos reservatórios/setores de acordo com o modelo matemático desenvolvido. Para o teste realizado o somatório dessa eficiência foi de 6.47, como pode ser visto no valor do *fitness* destacado no (Apêndice 3). Ao aplicar a

metodologia de solução proposta baseado na heurística Recozimento Simulado o valor da eficiência tende a diminuir, tendo em vista que o algoritmo deverá procurar uma melhor forma de distribuição da água existente para os reservatórios de acordo com suas necessidades, alterando assim a LPR. O critério de parada para o teste realizado foi definido em 10.000 iterações, a solução atingida foi de 4.36 o somatório da nova eficiência, significando que a água disponível foi melhor distribuída entre os reservatórios. A nova LPR pode ser observada no Apêndice 5. A solução binária após aplicação do Recozimento Simulado pode ser observada no Apêndice 6 e a quantidade de água fornecida aos reservatórios e a armazenada ao final dos turnos é apresentada no Apêndice 7.

De posse da solução binária (Apêndice 6), podemos criar o calendário de abastecimento Tabela 5.1 e desta forma observar para o teste realizado quais setores seriam abastecidos e em qual turno esse abastecimento seria realizado.

*Tabela 5.1 Calendário de Abastecimento*

Setor 6								TOTAL	EFICIÊNCIA		
Turno	Dia										
	1	2	3	4	5	6	7				
1	1	1	1	1	1	1	1	27820.8	11517.8		
2	1	1	1	1	1	1	1				
3	1	1	1	1	1	1	1				
QDF	3974.4	3974.4	3974.4	3974.4	3974.4	3974.4	3974.4				
QDN	2329	2329	2329	2329	2329	2329	2329	16303	0.7		
Setor 7											
Turno	Dia							TOTAL	EFICIÊNCIA		
	1	2	3	4	5	6	7				
1	1	1	1	1	1	1	1	7271.6	4137.98		
2	1	1	1	1	1	1	1				
3	1	1	1	1	1	1	1				
QDF	1038.8	1038.8	1038.8	1038.8	1038.8	1038.8	1038.8				
QDN	447.66	447.66	447.66	447.66	447.66	447.66	447.66	3133.62	1.3		
Setor 8											
Turno	Dia							TOTAL	EFICIÊNCIA		
	1	2	3	4	5	6	7				
1	1	1	1	1	1	1	1	3512	518.38		
2	1	1	1	1	1	1	1				
3	1	1	1	1	1	1	1				
QDF	516	516	516	516	516	516	516				
QDN	418.66	418.66	418.66	418.66	418.66	418.66	418.66	2930.62	0.17		

Setor 9									
Turno	Dia							TOTAL	EFICIÊNCIA
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1	1	1	1	1	1	1		
2	1	1	1	1	1	1	1		
3	1	1	1	1	1	1	1		
QDF	345.6	345.6	345.6	345.6	345.6	345.6	345.6	2419.2	1040.9
QDN	196.90	196.90	196.90	196.90	196.90	196.90	196.90	1378.3	0.7
Setor 10									
Turno	Dia							TOTAL	EFICIÊNCIA
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1	1	1	1	1	1	1		
2	1	1	1	1	1	1	1		
3	1	1	1	1	1	1	1		
QDF	516	516	516	516	516	516	516	3612	-1003.46
QDN	659.78	659.78	659.78	659.78	659.78	659.78	659.78	4618.46	-0.2
Setor 11									
Turno	Dia							TOTAL	EFICIÊNCIA
	1	2	3	4	5	6	7		
1	0	1	0	1	1	0	1		
2	1	0	0	1	0	1	0		
3	0	1	1	0	1	0	1		
QDF	86.4	172.8	86.4	172.8	172.8	86.4	172.8	950.4	545.38
QDN	57.86	57.86	57.86	57.86	57.86	57.86	57.86	405.02	1.3

Como pode ser observado no calendário do primeiro teste, no período de 7 (sete) dias para os 3 (três) turnos definidos quase 100% dos setores foram abastecidos diante a sua necessidade, apenas o setor 10 que não recebeu a quantidade de água necessária no período. Outro ponto a ser observado é que os outros setores receberam água a mais que precisavam isso ocorre devido fornecimento ser realizado durante as 8 horas definida para o turno e o teste ter sido realizada com a produção de água em sua capacidade máxima e a sua demanda reduzida, de acordo com o é estabelecido pela ONU mostrado na Tabela 3.2. Para os gestores essa é uma observação importante, podendo ser usada para adequar o tempo de fornecimento evitando assim o desperdício da produção da água.

Outro teste foi realizado, reduzindo a capacidade de produção da água para o abastecimento em 70%, representando um forte período de escassez, e desta vez sendo considerada a atual demanda do SAA/ Catende, disponível na Tabela 3.1. Para esse teste, no (Apêndice 8) é mostrado a solução binária antes da aplicação do Recozimento Simulado

resultado onde é possível observar em destaque a eficiência de 3,81. No Apêndice 9 é possível observar a quantidade de água fornecida e a quantidade de água armazenada ao final dos turnos considerados para o teste. Aplicada a metodologia de solução obteve a nova solução representada binariamente no Apêndice 10 mostrando em destaque a eficiência de 3,51% e em seguida o Apêndice 11 apresenta a quantidade de água fornecida e armazenada após aplicação do método. Com a solução binária apresentada no Apêndice 10 é possível gerar o calendário de abastecimento como foi apresentado na Tabela 5.1.

## **6 CONCLUSÕES**

O desenvolvimento deste trabalho a respeito do problema do planejamento de distribuição de água em períodos de escassez para resolução de Problemas de Otimização Combinatória, com a utilização do Recozimento Simulado, trouxe um entendimento satisfatório acerca do assunto. Sua principal contribuição foi no desenvolvimento de um modelo matemático e com sua solução baseada no recozimento simulado auxiliou na geração de calendários de abastecimento para uma cidade, buscando minimizar a diferença do que é fornecido ao setor pelo que realmente precisa.

Para a construção deste trabalho, as heurísticas se revelaram uma ferramenta bastante importante para a resolução do problema proposto, tendo em vista que a solução manual destes problemas necessitaria de muito tempo para chegar a um resultado viável e que seja razoável. A heurística Recozimento Simulado mostrou-se eficiente para o problema, embora, devido a simplicidade deste trabalho, não ter sido realizado testes com outros métodos para uma comparação entre resultados.

Para trabalhos futuros, propõe-se a utilização de outras heurísticas de busca local, que possa ser aplicada a este problema a fim de comparar os resultados e avaliar qual garante um resultado melhor, além da realização de testes da ferramenta nas organizações de abastecimento de água, para que seja possível avaliar, na prática, o modelo desenvolvido, identificando e ajustando algum parâmetro utilizado neste trabalho.

Por fim, conclui-se que este trabalho atingiu seus objetivos apresentados, que através das visitas realizadas para o estudo de caso, onde se compreendeu o processo de produção e abastecimento de água para uma cidade auxiliando assim o desenvolvimento do modelo matemático utilizado para a geração de calendários que definem o fornecimento de água para uma cidade, com o principal objetivo de auxiliar na gestão deste recurso que está cada dia mais escasso.

## **7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ABIKO, Alex Kenya. **Serviços públicos urbanos.** São Paulo: EPUSP, 2011
- AGUILAR, Fernando Herren. **Controle Social de Serviços Públicos.** São Paulo: Max Limonad, 1999.
- ARANTES, Guilherme [Compositor]. MPB-Planeta Água: WEA, Elektra Records, p 1981.
- AUGUSTO, Lia Giraldo da Silva, GURGEL, Idê Gomes Dantas, CÂMARANETO, Henrique Fernandes, MELO, Carlos Henrique de, & COSTA, André Monteiro. **O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano.** Ciênc. Saúde coletiva, Rio de Janeiro, 2012. v. 17, n. 6.
- AZEVEDO NETTO, J.M. de, MARTINS, José Augusto, PUPPI, Ildefonso C., BORSARI NETTO, Francisco, FRANCO, Pedro Nelson C. **Planejamento de Sistemas de Abastecimento de Água.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná; Organização Pan-americana da Saúde, 1973.
- BANDEIRA DE MELLO, Celso Antônio. **Curso de direito administrativo.** São Paulo, 2004 Malheiros Editores.
- BARROS, F.G.N.; AMIN, M.M. **Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo.** Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, 2008. 4 (1): 75-108.
- BASKENT, E.Z.; JORDAN, G.A. **Forest landscape management modeling using simulated annealing.** In: Forest Ecology and Management 2002, 165, p. 29-45.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria MS nº 518/2004.** Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providencias. 2004.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Manual de saneamento.** 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p.
- BRAGA, Luci Merhy Marins; ARGOLLO FERRÃO, André Munhoz de. **A gestão dos recursos hídricos na França e no Brasil com foco nas bacias hidrográficas e seus sistemas territoriais.** Labor e Engenho, Campinas, SP, v. 9, n. 4, p. p.19-33, dez. 2015. ISSN 2176-8846.
- BURITI, Catarina de Oliveira; AGUIAR, José Otávio (Org.). **Secas, migrações e representações do semiárido na literatura regional: por uma história ambiental dos sertões do nordeste brasileiro.** 2008.
- CAMPOS, J.N.B e STUDART, T.M.C. **Secas no Nordeste do Brasil: Origens, Causas e Soluções.** 2001.

- CASTRO CFA, SCARIOT A. **Escassez de água cria nova injustiça: a exclusão hídrica.** Disponível em: <http://www.pnud.org.br/gerapdf.php?id01=1067>. Acesso em: 30 de agosto de 2016.
- CERNY, V. **Thermo dynamical aproach to the traveling salesman problem: an efficient simulation algorithm.** Journal of Optimization Theory and Application, v. 45 n. 1, p. 41-51, 1985.
- CEMBRANO G., WELLS G., QUEVEDO J., PÉREZ R., ARGELAGUET R., **Optimal control of a water distribution network in a supervisory control system,** Control Eng. Pract.8 (10) (2000) 1177–1188.
- CONSTANS S., BRÉMOND B., MOREL P., **Simulation and control of chlorine level sin water distribution networks,** J. Water Resour. Plan. Manag. 129 (2) (2003)135–145.
- COSTA, L. L. et al. **Eficiência de Wetlands construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colífagos e bacteriófagos.** Revista de Biologia e Ciências da Terra, 2003.
- CRUZ, Rafael Cabral; GODOY, Vagner Neves De .**Autogestão dos recursos hídricos - estudo de caso da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria - RS.** Ciência e Natura, v. 38, p. 980, 2016.
- CRUZ, Maurício Stunitz. **Público e privado: o surgimento e a evolução dos conceitos.** Disponível em: <http://www.batebyte.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1468>. Acesso em: 03 out. 2016.
- CLARKE, R; KING, J. **O Atlas da Água: O mapeamento completo do Recurso Mais Precioso do Planeta.** São Paulo - SP: Publifolha, 2005. 128p.CNRH. Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003. Brasília, 2003.
- DU, Ding-Zhu, PARDALOS Panos M., editors. **Handbook of Combinatorial Optimization: Supplement**, volume A. Kluwer Academic Publishers2010.
- EHRGOTT, Matthias, GANDIBLEUX, Xavier. **A survey and annotated bibliography of multi objective combinatorial optimization.** ORS Pektrum, 2000, 22:425–460.
- ERTIN E., DEAN A.N., MOORE M.L., PRIDDY K.L., **Dynamic optimization for optimal control of water distribution systems**, in: Applications and Science of Computational Intelligence IV, 4390, 2001, pp. 142–149.
- ESTERCI, N. Populações tradicionais. In: Ricardo, B. & Campanilli, M. (eds.). Almanaque Brasil Socioambiental. São Paulo, 2008 ISA.
- FONTANA, Marcele Elisa. **Modelo de setorização para manobra em rede de distribuição de água baseado nas características das unidades consumidoras.** 115 f. Tese

(Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

FREITAS, M.A.V.; SANTOS, A.H.M. **Importância da água e da informação hidrológica.** In: Freitas, M.A.V. (Ed.). O estado das águas no Brasil; perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos. Brasília, 1999 ANEEL/MME/ MMA-SRH/OMM. P.13-16.

GOLDBARG, Marco Cesar, LUNA, Henrique Pacca. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos.** Elsevier, 2005, 2<sup>a</sup> edição.

ALEGRE, Helena, HIRNER, Wolfram, BAPTISTA, Jaime Melo. **Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água.** 2004.

IGNACIO, A.A.V.; FILHO FERREIRA, V.J.M.; GALVÃO, R.D. **Métodos heurísticos num entorno paralelo.** In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 32, 2000, Viçosa. Anais. Viçosa: Ufv, p. 769-788, 2000.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Almanaque Brasil socioambiental.** São Paulo, SP: Instituto Socioambiental, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/2H2>

JOALLAND G., COHEN G., **Optimal control of a water distribution network by two multilevel methods,** Automatica, 1980, 16 (1) 83–88.

JOWITT P.W., GERMANOPOULOS G., **Optimal pump scheduling in water-supply networks,** J. Water Resour. Plan. Manag. 1992, 118 (4) 406–422.

KLEMPOUS R., KOTOWSKI J., NIKODEM J., UŁASIEWICZ J., **Optimization algorithms of operative control in water distribution systems,** J. Comput. Appl. Math. 1997, 84 (1) 81–99.

KIRKPATRICK Jr. S.; GELATT, C.; VECCHI, M. **Optimization by simulated annealing.** Decision Science 220(4598), p. 498-516, 1983.

KOTLER, Philip. **Administração de Marketing: análise, planejamento, implementação e controle.** 5<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 1998.

\_\_\_\_\_ ; KELLER, Kevin L. **Administração de marketing.** 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

LANSEY K.E., AWUMAH K., **A methodology for optimal control of pump stations,** in: Proceedings ASCE Conference on Water Resources Planning and Management, New York, ASCE, 1990.

- \_\_\_\_\_. **Optimal pump operations considering pump switches**, J. Water Resour. Plan. Manag. 120 (1) 17–35, 1994.
- LITTLE, Paul E. **Gestão Territorial em Terras Indígenas: Definição de Conceitos e Propostas de Diretrizes**. Relatório Final. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA). Rio Branco. Acre. 2006.
- LOPES, L H.A.; LOCH, C.; BÄHR, H.P. **Modelo de gestão urbana baseado na capacidade de atendimento do sistema de abastecimento de água**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis, 2004.
- MANIEZZO Vittorio; STÜTZLE, Thomas, VOß, Stefan, editors. **Matheuristics - Hybridizing Metaheuristics and Mathematical Programming**, volume 10 of Annals of Information Systems. Springer, 2010.
- MARTÍNEZ, F.; CONEJOS, P.; VERCHER, J. **Developing an Integrated Model for Water Distribution Systems Considering both Distributed Leakage and Pressure-Dependent Demands**. Proceedings of the 26th ASCE Water Resources Planning and Management Division Conference, Tempe, Arizona, 1999.
- METROPOLIS, N. et al. Equation of state calculations by fast computing machines. *J. Chem. Phys.* v. 21, p. 1087-1092, 1953.
- OLIVEIRA, C. M., POZZI, C. E., FERRATI, L. C. D. L. B., & CARDOSO, F. S. **Democracia da água: das políticas internacionais à atuação de uma micro bacia hidrográfica**. Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, (2015). 11(22), 271.
- PAGANINE, Joseana. **Dia Mundial da Água incentiva cooperação entre os países**. (2013). Disponível em: <<http://www12.senado.leg.br/jornal/edicoes/2013/03/19/dia-mundial-da-agua-incentiva-cooperacao-entre-os-paises>>. Acesso em: 10 set. 2016.
- PEREIRA, Gustavo Willam. **Aplicação da Técnica de Recozimento Simulado em Problemas de Planejamento Florestal Multiobjetivo**. 2004. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.
- RAO Z., SALOMONS E., **Development of a real time, near optimal control process for water distribution networks**, *J. Hydro inform.* 9 (1) (2007) 25–37.
- REIS, L. F. R.; SANTOS, A.; CALIMAN, R. O.; SILVA, F. G. B.). **Avaliação dos Parâmetros de Vazamentos para Setores de Rede da Cidade de São Carlos – SP**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), 2003.
- SANKAR, G. S., KUMAR, S. M., NARASIMHAN, S., NARASIMHAN, S., BHALLAMUDI, S. M. **Optimal control of water distribution networks with storage facilities**. *Journal of Process Control*, 32, p. 127-137, 2015.

- SANTOS, Francis Gomes. **Programação Orientada a Objetos**. 2015. Disponível em: <<https://www.oficinadanet.com.br/post/14614-programacao-orientada-a-objetos#comment>>
- SILVA, R. T.; CONEJO J. G. L. **Definições de Perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento de Água**. Plano Nacional de Combate ao Desperdício de Água, 1998 (PNCDA), SEDU.
- YOUSSEF, H.; SAIT, S.M.; ADICHE, H. **Evolutionary algorithms, simulated annealing and tabu search: a comparative study**. Engineering Applications of Artificial Intelligence, V. 14, p. 167-181, 2001.
- YU T., ZHANG T., LI X., **Optimal operation of water supply systems with tanksbased on genetic algorithm**, J. Zhejiang Univ. Sci. 6 (8) (2005) 886.
- WOLSEY Laurence A. **Integer Programming**. Wiley Series in Discrete Mathematics and Optimization. 1998  
Disponível em: [http://www.sanasa.com.br/noticias/not\\_con3.asp?par\\_nrod=567&flag=TA](http://www.sanasa.com.br/noticias/not_con3.asp?par_nrod=567&flag=TA)  
Acesso em Out. 2016.

## APÊNDICE

### Apêndice 1 - Dados de Entrada no Aplicativo (teste1)

```
C:\Users\aldenia\Google Drive\2016 Aldénia\APLICATIVO\OptimizedScheduler_WaterDistributorModule.exe

Número de iteracoes do algoritmo aplicado: 10000
Número de dias do periodo considerado: 7
Número de turnos diarios: 3
Horas por turno: 8

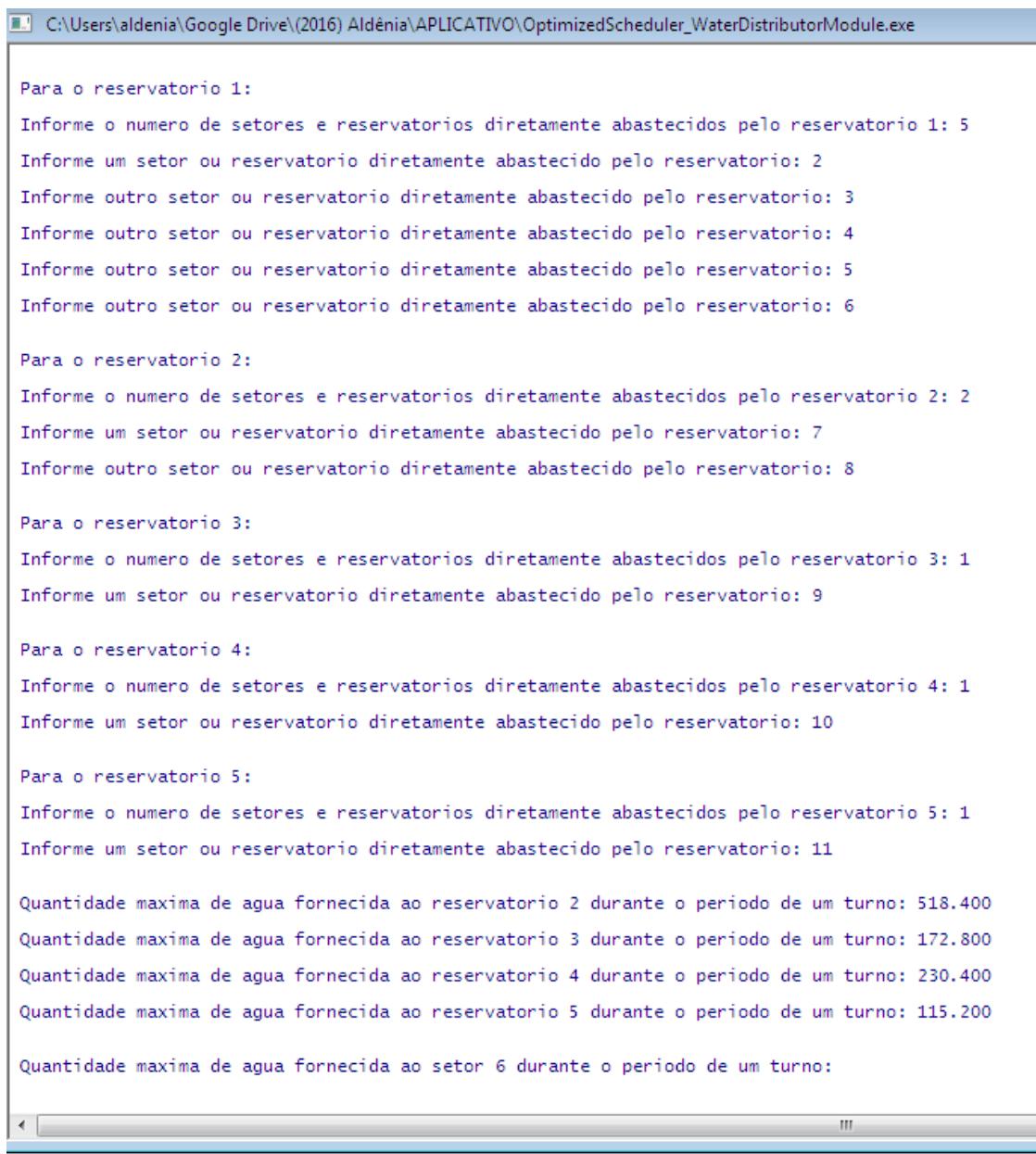
Número de manaciais considerados: 1
Quantidade maxima de agua fornecida pelo manacial 1 durante o periodo de um turno: 2304.000

Número de reservatorios considerados: 5
Capacidade do reservatorio 1: 500.000
Capacidade do reservatorio 2: 400.000
Capacidade do reservatorio 3: 100.000
Capacidade do reservatorio 4: 180.000
Capacidade do reservatorio 5: 20.000
Quantidade de agua armazenada no reservatorio 1 no momento inicial: 0
Quantidade de agua armazenada no reservatorio 2 no momento inicial: 0
Quantidade de agua armazenada no reservatorio 3 no momento inicial: 0
Quantidade de agua armazenada no reservatorio 4 no momento inicial: 0
Quantidade de agua armazenada no reservatorio 5 no momento inicial: 0

Número de setores que devem ser abastecidos: 6
Quantidade diaria de agua necesaria para o abastecimento do setor 6: 2329.000
Quantidade diaria de agua necesaria para o abastecimento do setor 7: 447.480
Quantidade diaria de agua necesaria para o abastecimento do setor 8: 418.660
Quantidade diaria de agua necesaria para o abastecimento do setor 9: 196.900
Quantidade diaria de agua necesaria para o abastecimento do setor 10: 659.780
Quantidade diaria de agua necesaria para o abastecimento do setor 11: 57.860

Para o reservatorio 1:
Informe o numero de setores e reservatorios diretamente abastecidos pelo reservatorio 1:
```

*Apêndice 2 - Dados de Entrada no Aplicativo (teste1) Continuação*



```
C:\Users\aldenia\Google Drive\2016 Aldénia\APLICATIVO\OptimizedScheduler_WaterDistributorModule.exe

Para o reservatorio 1:
Informe o numero de setores e reservatorios diretamente abastecidos pelo reservatorio 1: 5
Informe um setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 2
Informe outro setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 3
Informe outro setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 4
Informe outro setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 5
Informe outro setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 6

Para o reservatorio 2:
Informe o numero de setores e reservatorios diretamente abastecidos pelo reservatorio 2: 2
Informe um setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 7
Informe outro setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 8

Para o reservatorio 3:
Informe o numero de setores e reservatorios diretamente abastecidos pelo reservatorio 3: 1
Informe um setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 9

Para o reservatorio 4:
Informe o numero de setores e reservatorios diretamente abastecidos pelo reservatorio 4: 1
Informe um setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 10

Para o reservatorio 5:
Informe o numero de setores e reservatorios diretamente abastecidos pelo reservatorio 5: 1
Informe um setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 11

Quantidade maxima de agua fornecida ao reservatorio 2 durante o periodo de um turno: 518.400
Quantidade maxima de agua fornecida ao reservatorio 3 durante o periodo de um turno: 172.800
Quantidade maxima de agua fornecida ao reservatorio 4 durante o periodo de um turno: 230.400
Quantidade maxima de agua fornecida ao reservatorio 5 durante o periodo de um turno: 115.200

Quantidade maxima de agua fornecida ao setor 6 durante o periodo de um turno:
```

Apêndice 3 - Dados de Entrada no Aplicativo (teste1) Continuação

The screenshot shows a Windows command-line interface window with the title bar 'C:\Users\aldenia\Google Drive\2016 Aldênia\APLICATIVO\OptimizedScheduler\_WaterDistributorModule.exe'. The window contains the following text output from the application:

```
Informe outro setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 3
Informe outro setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 4
Informe outro setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 5
Informe outro setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 6

Para o reservatorio 2:
Informe o numero de setores e reservatorios diretamente abastecidos pelo reservatorio 2: 2
Informe um setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 7
Informe outro setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 8

Para o reservatorio 3:
Informe o numero de setores e reservatorios diretamente abastecidos pelo reservatorio 3: 1
Informe um setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 9

Para o reservatorio 4:
Informe o numero de setores e reservatorios diretamente abastecidos pelo reservatorio 4: 1
Informe um setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 10

Para o reservatorio 5:
Informe o numero de setores e reservatorios diretamente abastecidos pelo reservatorio 5: 1
Informe um setor ou reservatorio diretamente abastecido pelo reservatorio: 11

Quantidade maxima de agua fornecida ao reservatorio 2 durante o periodo de um turno: 518.400
Quantidade maxima de agua fornecida ao reservatorio 3 durante o periodo de um turno: 172.800
Quantidade maxima de agua fornecida ao reservatorio 4 durante o periodo de um turno: 230.400
Quantidade maxima de agua fornecida ao reservatorio 5 durante o periodo de um turno: 115.200

Quantidade maxima de agua fornecida ao setor 6 durante o periodo de um turno: 1324.800
Quantidade maxima de agua fornecida ao setor 7 durante o periodo de um turno: 345.600
Quantidade maxima de agua fornecida ao setor 8 durante o periodo de um turno: 172.800
Quantidade maxima de agua fornecida ao setor 9 durante o periodo de um turno: 115.200
Quantidade maxima de agua fornecida ao setor 10 durante o periodo de um turno: 172.800
Quantidade maxima de agua fornecida ao setor 11 durante o periodo de um turno: 86.400
```

Apêndice 2 –Representação da LPR (teste1)

```
C:\Users\aldenia\Google Drive\2016) Aldênia\APLICATIVO\OptimizedScheduler_WaterDistributorModule.exe

Para o setor 7
Quantidade diaria de agua necesaria: 447.48
Quantidade maxima de agua fornecida a este durante o periodo de um turno: 345.60

Para o setor 8
Quantidade diaria de agua necesaria: 418.66
Quantidade maxima de agua fornecida a este durante o periodo de um turno: 172.80

Para o setor 9
Quantidade diaria de agua necesaria: 196.90
Quantidade maxima de agua fornecida a este durante o periodo de um turno: 115.20

Para o setor 10
Quantidade diaria de agua necesaria: 659.78
Quantidade maxima de agua fornecida a este durante o periodo de um turno: 172.80

Para o setor 11
Quantidade diaria de agua necesaria: 57.86
Quantidade maxima de agua fornecida a este durante o periodo de um turno: 86.40

Fitness: 6.47

Solucao:

Lista de prioridades por reservatorio:

Reservatorio 1:
Turno 1: 2 3 4 5 6
Turno 2: 2 3 4 5 6
Turno 3: 2 3 4 5 6
Turno 4: 2 3 4 5 6
Turno 5: 2 3 4 5 6
Turno 6: 2 3 4 5 6
Turno 7: 2 3 4 5 6
Turno 8: 2 3 4 5 6
Turno 9: 2 3 4 5 6
Turno 10: 2 3 4 5 6
Turno 11: 2 3 4 5 6
Turno 12: 2 3 4 5 6
Turno 13: 2 3 4 5 6
Turno 14: 2 3 4 5 6
Turno 15: 2 3 4 5 6
Turno 16: 2 3 4 5 6
Turno 17: 2 3 4 5 6
Turno 18: 2 3 4 5 6
Turno 19: 2 3 4 5 6
Turno 20: 2 3 4 5 6
Turno 21: 2 3 4 5 6
```

## Apêndice 2 –Representação da LPR (teste1) Continuação

C:\Users\aldenia\Google Dr		C:\Users\aldenia\Google Drive\	
<b>Reservatorio 2:</b>		<b>Reservatorio 4:</b>	
Turno 1: 7 8		Turno 1: 10	
Turno 2: 7 8		Turno 2: 10	
Turno 3: 7 8		Turno 3: 10	
Turno 4: 7 8		Turno 4: 10	
Turno 5: 7 8		Turno 5: 10	
Turno 6: 7 8		Turno 6: 10	
Turno 7: 7 8		Turno 7: 10	
Turno 8: 7 8		Turno 8: 10	
Turno 9: 7 8		Turno 9: 10	
Turno 10: 7 8		Turno 10: 10	
Turno 11: 7 8		Turno 11: 10	
Turno 12: 7 8		Turno 12: 10	
Turno 13: 7 8		Turno 13: 10	
Turno 14: 7 8		Turno 14: 10	
Turno 15: 7 8		Turno 15: 10	
Turno 16: 7 8		Turno 16: 10	
Turno 17: 7 8		Turno 17: 10	
Turno 18: 7 8		Turno 18: 10	
Turno 19: 7 8		Turno 19: 10	
Turno 20: 7 8		Turno 20: 10	
Turno 21: 7 8		Turno 21: 10	
<b>Reservatorio 3:</b>		<b>Reservatorio 5:</b>	
Turno 1: 9		Turno 1: 11	
Turno 2: 9		Turno 2: 11	
Turno 3: 9		Turno 3: 11	
Turno 4: 9		Turno 4: 11	
Turno 5: 9		Turno 5: 11	
Turno 6: 9		Turno 6: 11	
Turno 7: 9		Turno 7: 11	
Turno 8: 9		Turno 8: 11	
Turno 9: 9		Turno 9: 11	
Turno 10: 9		Turno 10: 11	
Turno 11: 9		Turno 11: 11	
Turno 12: 9		Turno 12: 11	
Turno 13: 9		Turno 13: 11	
Turno 14: 9		Turno 14: 11	
Turno 15: 9		Turno 15: 11	
Turno 16: 9		Turno 16: 11	
Turno 17: 9		Turno 17: 11	
Turno 18: 9		Turno 18: 11	
Turno 19: 9		Turno 19: 11	
Turno 20: 9		Turno 20: 11	
Turno 21: 9		Turno 21: 11	

## Apêndice 3 –Representação Binária da primeira solução (teste1)

```

C:\Users\aldenia\Google Drive\()
Solucao Binaria:

Turno 1:
Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Nao
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Sim

Turno 2:
Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Sim

Turno 3:
Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Sim

Turno 4:
Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Sim

Turno 5:
Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Sim

Turno 6:
Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Sim

Turno 7:
Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Sim

Turno 8:
Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Sim

Turno 9:
Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Sim

```

## Apêndice 3 –Representação Binária da primeira solução (teste1) – Continuação

C:\Users\aldenia\Google Drive\ (2016)	
Turno 10:	Turno 13:
Reservatorio 1: Sim	Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim	Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim	Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim	Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim	Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Nao	Setor 6: Sim
Setor 7: Sim	Setor 7: Sim
Setor 8: Sim	Setor 8: Sim
Setor 9: Sim	Setor 9: Sim
Setor 10: Sim	Setor 10: Sim
Setor 11: Sim	Setor 11: Sim
Turno 11:	Turno 14:
Reservatorio 1: Sim	Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim	Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim	Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim	Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim	Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Sim	Setor 6: Sim
Setor 7: Sim	Setor 7: Sim
Setor 8: Sim	Setor 8: Sim
Setor 9: Sim	Setor 9: Sim
Setor 10: Sim	Setor 10: Sim
Setor 11: Sim	Setor 11: Sim
Turno 12:	Turno 15:
Reservatorio 1: Sim	Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim	Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim	Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim	Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim	Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Sim	Setor 6: Sim
Setor 7: Sim	Setor 7: Sim
Setor 8: Sim	Setor 8: Sim
Setor 9: Sim	Setor 9: Sim
Setor 10: Sim	Setor 10: Sim
Setor 11: Sim	Setor 11: Sim

## Apêndice 3 –Representação Binária da primeira solução (teste1) – Continuação

The image shows two windows side-by-side, both titled "C:\Users\aldenia\Google Drive".

**Left Window (Turno 16 to Turno 18):**

- Turno 16:
  - Reservatorio 1: Sim
  - Reservatorio 2: Sim
  - Reservatorio 3: Sim
  - Reservatorio 4: Sim
  - Reservatorio 5: Sim
  - Setor 6: Sim
  - Setor 7: Sim
  - Setor 8: Sim
  - Setor 9: Sim
  - Setor 10: Sim
  - Setor 11: Sim
- Turno 17:
  - Reservatorio 1: Sim
  - Reservatorio 2: Sim
  - Reservatorio 3: Sim
  - Reservatorio 4: Sim
  - Reservatorio 5: Sim
  - Setor 6: Sim
  - Setor 7: Sim
  - Setor 8: Sim
  - Setor 9: Sim
  - Setor 10: Sim
  - Setor 11: Sim
- Turno 18:
  - Reservatorio 1: Sim
  - Reservatorio 2: Sim
  - Reservatorio 3: Sim
  - Reservatorio 4: Sim
  - Reservatorio 5: Sim
  - Setor 6: Sim
  - Setor 7: Sim
  - Setor 8: Sim
  - Setor 9: Sim
  - Setor 10: Sim
  - Setor 11: Sim

**Right Window (Turno 19 to Turno 21):**

- Turno 19:
  - Reservatorio 1: Sim
  - Reservatorio 2: Sim
  - Reservatorio 3: Sim
  - Reservatorio 4: Sim
  - Reservatorio 5: Sim
  - Setor 6: Nao
  - Setor 7: Sim
  - Setor 8: Sim
  - Setor 9: Sim
  - Setor 10: Sim
  - Setor 11: Sim
- Turno 20:
  - Reservatorio 1: Sim
  - Reservatorio 2: Sim
  - Reservatorio 3: Sim
  - Reservatorio 4: Sim
  - Reservatorio 5: Sim
  - Setor 6: Sim
  - Setor 7: Sim
  - Setor 8: Sim
  - Setor 9: Sim
  - Setor 10: Sim
  - Setor 11: Sim
- Turno 21:
  - Reservatorio 1: Sim
  - Reservatorio 2: Sim
  - Reservatorio 3: Sim
  - Reservatorio 4: Sim
  - Reservatorio 5: Sim
  - Setor 6: Sim
  - Setor 7: Sim
  - Setor 8: Sim
  - Setor 9: Sim
  - Setor 10: Sim
  - Setor 11: Sim

**Fitness:** 6.47

## Apêndice 4 –Quantidade de Água fornecida e Armazenada (teste1)

```
C:\Users\aldenia\Google Drive\2016\Aldênia\APLICATIVO\OptimizedScheduler_WaterDistribut
F[r][t] - Quantidade de agua fornecida pelo reservatorio r no turno t:
F[1][1]: 1536.80
F[2][1]: 518.40
F[3][1]: 172.80
F[4][1]: 230.40
F[5][1]: 106.40
F[1][2]: 2304.00
F[2][2]: 518.40
F[3][2]: 157.60
F[4][2]: 230.40
F[5][2]: 86.40
F[1][3]: 2304.00
F[2][3]: 518.40
F[3][3]: 115.20
F[4][3]: 230.40
F[5][3]: 86.40
F[1][4]: 2304.00
F[2][4]: 518.40
F[3][4]: 115.20
F[4][4]: 180.00
F[5][4]: 86.40
F[1][5]: 2304.00
F[2][5]: 518.40
F[3][5]: 115.20
F[4][5]: 172.80
F[5][5]: 86.40
F[1][6]: 2304.00
F[2][6]: 518.40
F[3][6]: 115.20
F[4][6]: 172.80
F[5][6]: 86.40
F[1][7]: 2304.00
F[2][7]: 518.40
F[3][7]: 115.20
F[4][7]: 172.80
F[5][7]: 86.40
F[1][8]: 2304.00
F[2][8]: 518.40
F[3][8]: 115.20
F[4][8]: 172.80
F[5][8]: 86.40
F[1][9]: 2304.00
F[2][9]: 518.40
F[3][9]: 115.20
F[4][9]: 172.80
F[5][9]: 86.40
F[1][10]: 1497.60
F[2][10]: 518.40
F[3][10]: 115.20
F[4][10]: 172.80
F[5][10]: 86.40
F[1][11]: 2304.00
F[2][11]: 518.40
F[3][11]: 115.20
F[4][11]: 172.80
F[5][11]: 86.40
F[1][12]: 2304.00
F[1][12]: 2304.00
F[2][12]: 518.40
F[3][12]: 115.20
F[4][12]: 172.80
F[5][12]: 86.40
F[1][13]: 2304.00
F[2][13]: 518.40
F[3][13]: 115.20
F[4][13]: 172.80
F[5][13]: 86.40
F[1][14]: 2304.00
F[2][14]: 518.40
F[3][14]: 115.20
F[4][14]: 172.80
F[5][14]: 86.40
F[1][15]: 2304.00
F[2][15]: 518.40
F[3][15]: 115.20
F[4][15]: 172.80
F[5][15]: 86.40
F[1][16]: 2304.00
F[2][16]: 518.40
F[3][16]: 115.20
F[4][16]: 172.80
F[5][16]: 86.40
F[1][17]: 2304.00
F[2][17]: 518.40
F[3][17]: 115.20
F[4][17]: 172.80
F[5][17]: 86.40
F[1][18]: 2304.00
F[2][18]: 518.40
F[3][18]: 115.20
F[4][18]: 172.80
F[5][18]: 86.40
F[1][19]: 1497.60
F[2][19]: 518.40
F[3][19]: 115.20
F[4][19]: 172.80
F[5][19]: 86.40
F[1][20]: 2304.00
F[2][20]: 518.40
F[3][20]: 115.20
F[4][20]: 172.80
F[5][20]: 86.40
F[1][21]: 2304.00
F[2][21]: 518.40
F[3][21]: 115.20
F[4][21]: 172.80
F[5][21]: 86.40
Quantidade de agua armazenada nos reservatorios apos ultimo turno:
A[1][21]: 384.80
A[2][21]: 0.00
A[3][21]: 100.00
A[4][21]: 180.00
A[5][21]: 20.00
```

## Apêndice 5 –Representação LPR após aplicação Recozimento Simulado (teste1)

```

C:\Users\aldenia\Google Drive\2016\Aldênia\  C:\Users\aldenia\Goo  C:\Users\aldenia\Google
*** Melhor solução encontrada:
Fitness: 4.36
Solução:
Lista de prioridades por reservatório:
Reservatório 1:
Turno 1: 4 3 6 2 5
Turno 2: 3 4 6 2 5
Turno 3: 4 3 6 2 5
Turno 4: 3 4 6 5 2
Turno 5: 6 4 3 2 5
Turno 6: 4 6 2 3 5
Turno 7: 4 6 3 2 5
Turno 8: 4 6 3 2 5
Turno 9: 2 4 6 3 5
Turno 10: 3 4 6 2 5
Turno 11: 4 3 5 2 6
Turno 12: 4 6 2 3 5
Turno 13: 4 3 6 2 5
Turno 14: 4 3 2 6 5
Turno 15: 4 6 5 3 2
Turno 16: 4 2 3 6 5
Turno 17: 4 6 3 2 5
Turno 18: 3 4 2 6 5
Turno 19: 6 4 3 5 2
Turno 20: 4 3 6 2 5
Turno 21: 4 3 6 2 5

Reservatório 2:
Turno 1: 8 7
Turno 2: 8 7
Turno 3: 8 7
Turno 4: 8 7
Turno 5: 8 7
Turno 6: 8 7
Turno 7: 8 7
Turno 8: 8 7
Turno 9: 8 7
Turno 10: 8 7
Turno 11: 8 7
Turno 12: 8 7
Turno 13: 7 8
Turno 14: 8 7
Turno 15: 8 7
Turno 16: 8 7
Turno 17: 8 7
Turno 18: 8 7
Turno 19: 8 7
Turno 20: 8 7
Turno 21: 8 7

Reservatório 3:
Turno 1: 9
Turno 2: 9
Turno 3: 9
Turno 4: 9
Turno 5: 9
Turno 6: 9
Turno 7: 9
Turno 8: 9
Turno 9: 9
Turno 10: 9
Turno 11: 9
Turno 12: 9
Turno 13: 9
Turno 14: 9
Turno 15: 9
Turno 16: 9
Turno 17: 9
Turno 18: 9
Turno 19: 9
Turno 20: 9
Turno 21: 9

Reservatório 4:
Turno 1: 10
Turno 2: 10
Turno 3: 10
Turno 4: 10
Turno 5: 10
Turno 6: 10
Turno 7: 10
Turno 8: 10
Turno 9: 10
Turno 10: 10
Turno 11: 10
Turno 12: 10
Turno 13: 10
Turno 14: 10
Turno 15: 10
Turno 16: 10
Turno 17: 10
Turno 18: 10
Turno 19: 10
Turno 20: 10
Turno 21: 10

Reservatório 5:
Turno 1: 11
Turno 2: 11
Turno 3: 11
Turno 4: 11
Turno 5: 11
Turno 6: 11
Turno 7: 11
Turno 8: 11
Turno 9: 11
Turno 10: 11
Turno 11: 11
Turno 12: 11
Turno 13: 11
Turno 14: 11
Turno 15: 11
Turno 16: 11
Turno 17: 11
Turno 18: 11
Turno 19: 11
Turno 20: 11
Turno 21: 11

Solução Binária:
Turno 1:
Reservatório 1: Sim
Reservatório 2: Sim
Reservatório 3: Sim
Reservatório 4: Sim
Reservatório 5: Não

Turno 2:
Reservatório 1: Sim
Reservatório 2: Sim
Reservatório 3: Sim
Reservatório 4: Sim
Reservatório 5: Sim

Turno 3:
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Não

Turno 4:
Turno 1: 11
Turno 2: 11
Turno 3: 11
Turno 4: 11
Turno 5: 11
Turno 6: 11
Turno 7: 11
Turno 8: 11

```

## Apêndice 6 –Solução Binária após aplicação Recozimento Simulado (teste1)

C:\Users\aldenia\Google Driv		C:\Users\aldenia\Google Driv	
Turno 3:	Turno 7:	Turno 11:	
Reservatorio 1: Sim	Reservatorio 1: Sim	Reservatorio 1: Sim	
Reservatorio 2: Sim	Reservatorio 2: Sim	Reservatorio 2: Sim	
Reservatorio 3: Sim	Reservatorio 3: Sim	Reservatorio 3: Sim	
Reservatorio 4: Sim	Reservatorio 4: Sim	Reservatorio 4: Sim	
Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 5: Nao	
Setor 6: Sim	Setor 6: Sim	Setor 6: Sim	
Setor 7: Sim	Setor 7: Sim	Setor 7: Sim	
Setor 8: Sim	Setor 8: Sim	Setor 8: Sim	
Setor 9: Sim	Setor 9: Sim	Setor 9: Sim	
Setor 10: Sim	Setor 10: Sim	Setor 10: Sim	
Setor 11: Nao	Setor 11: Nao	Setor 11: Nao	
Turno 4:	Turno 8:	Turno 12:	
Reservatorio 1: Sim	Reservatorio 1: Sim	Reservatorio 1: Sim	
Reservatorio 2: Sim	Reservatorio 2: Sim	Reservatorio 2: Sim	
Reservatorio 3: Sim	Reservatorio 3: Sim	Reservatorio 3: Sim	
Reservatorio 4: Sim	Reservatorio 4: Sim	Reservatorio 4: Sim	
Reservatorio 5: Sim	Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 5: Nao	
Setor 6: Sim	Setor 6: Sim	Setor 6: Sim	
Setor 7: Sim	Setor 7: Sim	Setor 7: Sim	
Setor 8: Sim	Setor 8: Sim	Setor 8: Sim	
Setor 9: Sim	Setor 9: Sim	Setor 9: Sim	
Setor 10: Sim	Setor 10: Sim	Setor 10: Sim	
Setor 11: Sim	Setor 11: Nao	Setor 11: Nao	
Turno 5:	Turno 9:	Turno 13:	
Reservatorio 1: Sim	Reservatorio 1: Sim	Reservatorio 1: Sim	
Reservatorio 2: Sim	Reservatorio 2: Sim	Reservatorio 2: Sim	
Reservatorio 3: Sim	Reservatorio 3: Sim	Reservatorio 3: Sim	
Reservatorio 4: Sim	Reservatorio 4: Sim	Reservatorio 4: Sim	
Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 5: Sim	Reservatorio 5: Sim	
Setor 6: Sim	Setor 6: Sim	Setor 6: Sim	
Setor 7: Sim	Setor 7: Sim	Setor 7: Sim	
Setor 8: Sim	Setor 8: Sim	Setor 8: Sim	
Setor 9: Sim	Setor 9: Sim	Setor 9: Sim	
Setor 10: Sim	Setor 10: Sim	Setor 10: Sim	
Setor 11: Nao	Setor 11: Sim	Setor 11: Sim	
Turno 6:	Turno 10:	Turno 14:	
Reservatorio 1: Sim	Reservatorio 1: Sim	Reservatorio 1: Sim	
Reservatorio 2: Sim	Reservatorio 2: Sim	Reservatorio 2: Sim	
Reservatorio 3: Sim	Reservatorio 3: Sim	Reservatorio 3: Sim	
Reservatorio 4: Sim	Reservatorio 4: Sim	Reservatorio 4: Sim	
Reservatorio 5: Sim	Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 5: Nao	
Setor 6: Sim	Setor 6: Sim	Setor 6: Sim	
Setor 7: Sim	Setor 7: Sim	Setor 7: Sim	
Setor 8: Sim	Setor 8: Sim	Setor 8: Sim	
Setor 9: Sim	Setor 9: Sim	Setor 9: Sim	
Setor 10: Sim	Setor 10: Sim	Setor 10: Sim	

## Apêndice 6 –Solução Binária após aplicação Recozimento Simulado (teste1) – Continuação

C:\Users\aldenia\Google Drive

Turno 15:

Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Sim

Turno 16:

Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Nao

Turno 17:

Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Nao

Turno 18:

Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Nao

C:\Users\aldenia\Google Drive

Turno 19:

Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Sim

Turno 20:

Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Nao

Turno 21:

Reservatorio 1: Sim
Reservatorio 2: Sim
Reservatorio 3: Sim
Reservatorio 4: Sim
Reservatorio 5: Sim
Setor 6: Sim
Setor 7: Sim
Setor 8: Sim
Setor 9: Sim
Setor 10: Sim
Setor 11: Sim

Fitness: 4.36

*Apêndice 7 –Quantidade de Água fornecida e Armazenada após aplicação Recozimento Simulado  
(teste1)*

```
C:\Users\aldenia\Google Drive\2016\Aldênia\APLICATIVO\OptimizedScheduler_WaterDistributorModule.exe

F[r][t] - Quantidade de agua fornecida pelo reservatorio r no turno t:
F[1][1]: 2304.00 F[1][12]: 2304.00
F[2][1]: 518.40 F[2][12]: 518.40
F[3][1]: 172.80 F[3][12]: 115.20
F[4][1]: 230.40 F[4][12]: 172.80
F[5][1]: 0.00 F[5][12]: 0.00
F[1][2]: 2304.00 F[1][13]: 2304.00
F[2][2]: 518.40 F[2][13]: 518.40
F[3][2]: 157.60 F[3][13]: 115.20
F[4][2]: 230.40 F[4][13]: 172.80
F[5][2]: 0.00 F[5][13]: 86.40
F[1][3]: 2304.00 F[1][14]: 2304.00
F[2][3]: 518.40 F[2][14]: 518.40
F[3][3]: 106.40 F[3][14]: 115.20
F[4][3]: 2304.00 F[4][14]: 172.80
F[2][3]: 518.40 F[5][14]: 0.00
F[3][3]: 115.20 F[1][15]: 2304.00
F[4][3]: 180.00 F[2][15]: 518.40
F[5][3]: 86.40 F[3][15]: 115.20
F[1][4]: 2304.00 F[4][15]: 172.80
F[2][4]: 518.40 F[5][15]: 86.40
F[3][4]: 115.20 F[1][16]: 2304.00
F[4][4]: 180.00 F[2][16]: 518.40
F[5][4]: 0.00 F[3][16]: 115.20
F[1][5]: 2304.00 F[4][16]: 172.80
F[2][5]: 518.40 F[5][16]: 0.00
F[3][5]: 115.20 F[1][17]: 2304.00
F[4][5]: 172.80 F[2][17]: 518.40
F[5][5]: 86.40 F[3][17]: 115.20
F[1][6]: 2304.00 F[4][17]: 172.80
F[2][6]: 518.40 F[5][17]: 86.40
F[3][6]: 115.20 F[1][18]: 2304.00
F[4][6]: 172.80 F[2][18]: 518.40
F[5][6]: 0.00 F[3][18]: 115.20
F[1][7]: 2304.00 F[4][18]: 172.80
F[2][7]: 518.40 F[5][18]: 0.00
F[3][7]: 115.20 F[1][19]: 2304.00
F[4][7]: 172.80 F[2][19]: 518.40
F[5][7]: 86.40 F[3][19]: 115.20
F[1][8]: 2304.00 F[4][19]: 172.80
F[2][8]: 518.40 F[5][19]: 86.40
F[3][8]: 115.20 F[1][20]: 2304.00
F[4][8]: 172.80 F[2][20]: 518.40
F[5][8]: 0.00 F[3][20]: 115.20
F[1][9]: 2304.00 F[4][20]: 172.80
F[2][9]: 518.40 F[5][20]: 0.00
F[3][9]: 115.20 F[1][21]: 2304.00
F[4][9]: 172.80 F[2][21]: 518.40
F[5][9]: 86.40 F[3][21]: 115.20
F[1][10]: 2304.00 F[4][21]: 172.80
F[2][10]: 518.40 F[5][21]: 20.00
F[3][10]: 115.20
F[4][10]: 172.80
F[5][10]: 0.00
F[1][11]: 2304.00
F[2][11]: 518.40
F[3][11]: 115.20
F[4][11]: 172.80
F[5][11]: 86.40
F[1][12]: 2304.00

Quantidade de agua armazenada nos reservatorios apos ultimo turno:
A[1][21]: 57.60
A[2][21]: 0.00
A[3][21]: 100.00
A[4][21]: 180.00
A[5][21]: 20.00
```

## Apêndice 8 –Representação Binária da primeira solução (teste2)

Solução Binária:	
Turno 1:	Turno 5:
Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao
Turno 2:	Turno 6:
Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao
Turno 3:	Turno 7:
Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao
Turno 4:	Turno 8:
Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao
Turno 9:	Turno 10:
	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao
	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao
Turno 11:	Turno 12:
	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao
	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao

## Apêndice 8 –Representação Binária da primeira solução (teste2) – Continuação

C:\Users\aldenia\Google Dri	C:\Users\aldenia\Google Dri	C:\Users\aldenia\Google Dri
Turno 13:	Turno 17:	Turno 21:
Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao
Turno 14:	Turno 18:	Turno 21:
Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao
Turno 15:	Turno 19:	Turno 21:
Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao
Turno 16:	Turno 20:	Turno 21:
Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao
Turno 17:		Fitness: 3.81

## Apêndice 9 –Quantidade de Água fornecida e Armazenada (teste2)

```

C:\Users\aldenia\Google Drive\2016 Aldénia\APLICATIVO\OptimizedScheduler_WaterDistri
F[r][t] - Quantidade de agua fornecida pelo reservatorio r no turno t:

F[1][1]: 691.20
F[2][1]: 518.40
F[3][1]: 172.80
F[4][1]: 0.00
F[5][1]: 0.00
F[1][2]: 691.20
F[2][2]: 518.40
F[3][2]: 157.60
F[4][2]: 0.00
F[5][2]: 0.00
F[1][3]: 691.20
F[2][3]: 518.40
F[3][3]: 115.20
F[4][3]: 0.00
F[5][3]: 0.00
F[1][4]: 691.20
F[2][4]: 518.40
F[3][4]: 115.20
F[4][4]: 0.00
F[5][4]: 0.00
F[1][5]: 691.20
F[2][5]: 518.40
F[3][5]: 115.20
F[4][5]: 0.00
F[5][5]: 0.00
F[1][6]: 691.20
F[2][6]: 518.40
F[3][6]: 115.20
F[4][6]: 0.00
F[5][6]: 0.00
F[1][7]: 691.20
F[2][7]: 518.40
F[3][7]: 115.20
F[4][7]: 0.00
F[5][7]: 0.00
F[1][8]: 691.20
F[2][8]: 518.40
F[3][8]: 115.20
F[4][8]: 0.00
F[5][8]: 0.00
F[1][9]: 691.20
F[2][9]: 518.40
F[3][9]: 115.20
F[4][9]: 0.00
F[5][9]: 0.00
F[1][10]: 691.20
F[2][10]: 518.40
F[3][10]: 115.20
F[4][10]: 0.00
F[5][10]: 0.00
F[1][11]: 691.20
F[2][11]: 518.40
F[3][11]: 115.20
F[4][11]: 0.00
F[5][11]: 0.00
F[1][12]: 691.20
F[2][12]: 518.40
F[3][12]: 115.20
F[4][12]: 0.00
F[5][12]: 0.00

F[1][13]: 691.20
F[2][13]: 518.40
F[3][13]: 115.20
F[4][13]: 0.00
F[5][13]: 0.00
F[1][14]: 691.20
F[2][14]: 518.40
F[3][14]: 115.20
F[4][14]: 0.00
F[5][14]: 0.00
F[1][15]: 691.20
F[2][15]: 518.40
F[3][15]: 115.20
F[4][15]: 0.00
F[5][15]: 0.00
F[1][16]: 691.20
F[2][16]: 518.40
F[3][16]: 115.20
F[4][16]: 0.00
F[5][16]: 0.00
F[1][17]: 691.20
F[2][17]: 518.40
F[3][17]: 115.20
F[4][17]: 0.00
F[5][17]: 0.00
F[1][18]: 691.20
F[2][18]: 518.40
F[3][18]: 115.20
F[4][18]: 0.00
F[5][18]: 0.00
F[1][19]: 691.20
F[2][19]: 518.40
F[3][19]: 115.20
F[4][19]: 0.00
F[5][19]: 0.00
F[1][20]: 691.20
F[2][20]: 518.40
F[3][20]: 115.20
F[4][20]: 0.00
F[5][20]: 0.00
F[1][21]: 691.20
F[2][21]: 518.40
F[3][21]: 115.20
F[4][21]: 0.00
F[5][21]: 0.00

Quantidade de agua armazenada nos reservatorios apos ultimo turno:
A[1][21]: 0.00
A[2][21]: 0.00
A[3][21]: 100.00
A[4][21]: 0.00
A[5][21]: 0.00

Tecle enter para continuar !!!

```

## Apêndice 10 –Solução Binária após aplicação Recozimento Simulado (teste2)

Solução Binária:		
Turno 1:	Turno 5:	Turno 9:
Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Nao Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Sim Reservatorio 5: Sim	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Nao Setor 8: Nao Setor 9: Sim Setor 10: Sim Setor 11: Sim	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao
Turno 2:	Turno 6:	Turno 10:
Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Sim	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Sim	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao
Turno 3:	Turno 7:	Turno 11:
Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao
Turno 4:	Turno 8:	Turno 12:
Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao	Reservatorio 1: Sim Reservatorio 2: Sim Reservatorio 3: Sim Reservatorio 4: Nao Reservatorio 5: Nao
Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao	Setor 6: Nao Setor 7: Sim Setor 8: Sim Setor 9: Sim Setor 10: Nao Setor 11: Nao

## Apêndice 10 –Solução Binária após aplicação Recozimento Simulado (teste2) – Continuação

The image displays three windows showing the state of reservoirs and sectors over 21 turns. Turn 18 is highlighted with a blue border, and its fitness value of 3.51 is displayed in a separate window.

**Turno 13:**

- Reservatorio 1: Sim
- Reservatorio 2: Sim
- Reservatorio 3: Sim
- Reservatorio 4: Nao
- Reservatorio 5: Nao
- Setor 6: Nao
- Setor 7: Sim
- Setor 8: Sim
- Setor 9: Sim
- Setor 10: Nao
- Setor 11: Nao

**Turno 14:**

- Reservatorio 1: Sim
- Reservatorio 2: Sim
- Reservatorio 3: Sim
- Reservatorio 4: Nao
- Reservatorio 5: Nao
- Setor 6: Nao
- Setor 7: Sim
- Setor 8: Sim
- Setor 9: Sim
- Setor 10: Nao
- Setor 11: Nao

**Turno 15:**

- Reservatorio 1: Sim
- Reservatorio 2: Sim
- Reservatorio 3: Sim
- Reservatorio 4: Nao
- Reservatorio 5: Nao
- Setor 6: Nao
- Setor 7: Sim
- Setor 8: Sim
- Setor 9: Sim
- Setor 10: Nao
- Setor 11: Nao

**Turno 16:**

- Reservatorio 1: Sim
- Reservatorio 2: Sim
- Reservatorio 3: Sim
- Reservatorio 4: Nao
- Reservatorio 5: Nao
- Setor 6: Nao
- Setor 7: Sim
- Setor 8: Sim
- Setor 9: Sim
- Setor 10: Nao
- Setor 11: Nao

**Turno 17:**

- Reservatorio 1: Sim
- Reservatorio 2: Sim
- Reservatorio 3: Sim
- Reservatorio 4: Nao
- Reservatorio 5: Nao
- Setor 6: Nao
- Setor 7: Sim
- Setor 8: Sim
- Setor 9: Sim
- Setor 10: Nao
- Setor 11: Nao

**Turno 18:**

- Reservatorio 1: Sim
- Reservatorio 2: Sim
- Reservatorio 3: Sim
- Reservatorio 4: Nao
- Reservatorio 5: Nao
- Setor 6: Nao
- Setor 7: Sim
- Setor 8: Sim
- Setor 9: Sim
- Setor 10: Nao
- Setor 11: Nao

**Turno 19:**

- Reservatorio 1: Sim
- Reservatorio 2: Sim
- Reservatorio 3: Sim
- Reservatorio 4: Nao
- Reservatorio 5: Nao
- Setor 6: Nao
- Setor 7: Sim
- Setor 8: Sim
- Setor 9: Sim
- Setor 10: Nao
- Setor 11: Nao

**Turno 20:**

- Reservatorio 1: Sim
- Reservatorio 2: Sim
- Reservatorio 3: Sim
- Reservatorio 4: Nao
- Reservatorio 5: Nao
- Setor 6: Nao
- Setor 7: Sim
- Setor 8: Sim
- Setor 9: Sim
- Setor 10: Nao
- Setor 11: Nao

**Turno 21:**

- Reservatorio 1: Sim
- Reservatorio 2: Sim
- Reservatorio 3: Sim
- Reservatorio 4: Nao
- Reservatorio 5: Nao
- Setor 6: Nao
- Setor 7: Sim
- Setor 8: Sim
- Setor 9: Sim
- Setor 10: Nao
- Setor 11: Nao

**Fitness: 3.51**

*Apêndice 11 –Quantidade de Água fornecida e Armazenada após aplicação Recozimento Simulado  
(teste2)*

```

C:\Users\aldenia\Google Drive\2016) Aldênia\APLICATIVO\OptimizedScheduler_WaterDistri
F[r][t] - Quantidade de agua fornecida pelo reservatorio r no turno t:

F[1][1]: 691.20
F[2][1]: 518.40
F[3][1]: 172.80
F[4][1]: 0.00
F[5][1]: 0.00
F[1][2]: 691.20
F[2][2]: 518.40
F[3][2]: 157.60
F[4][2]: 0.00
F[5][2]: 0.00
F[1][3]: 691.20
F[2][3]: 518.40
F[3][3]: 115.20
F[4][3]: 0.00
F[5][3]: 0.00
F[1][4]: 691.20
F[2][4]: 518.40
F[3][4]: 115.20
F[4][4]: 0.00
F[5][4]: 0.00
F[1][5]: 691.20
F[2][5]: 518.40
F[3][5]: 115.20
F[4][5]: 230.40
F[5][5]: 106.40
F[1][6]: 691.20
F[2][6]: 518.40
F[3][6]: 115.20
F[4][6]: 0.00
F[5][6]: 86.40
F[1][7]: 691.20
F[2][7]: 518.40
F[3][7]: 115.20
F[4][7]: 0.00
F[5][7]: 0.00
F[1][8]: 691.20
F[2][8]: 518.40
F[3][8]: 115.20
F[4][8]: 0.00
F[5][8]: 0.00
F[1][9]: 691.20
F[2][9]: 518.40
F[3][9]: 115.20
F[4][9]: 0.00
F[5][9]: 0.00
F[1][10]: 691.20
F[2][10]: 518.40
F[3][10]: 115.20
F[4][10]: 0.00
F[5][10]: 0.00
F[1][11]: 691.20
F[2][11]: 518.40
F[3][11]: 115.20
F[4][11]: 0.00
F[5][11]: 0.00
F[1][12]: 691.20
F[2][12]: 518.40
F[3][12]: 115.20
F[4][12]: 0.00
F[5][12]: 0.00

F[1][13]: 691.20
F[2][13]: 518.40
F[3][13]: 115.20
F[4][13]: 0.00
F[5][13]: 0.00
F[1][14]: 691.20
F[2][14]: 518.40
F[3][14]: 115.20
F[4][14]: 0.00
F[5][14]: 0.00
F[1][15]: 691.20
F[2][15]: 518.40
F[3][15]: 115.20
F[4][15]: 0.00
F[5][15]: 0.00
F[1][16]: 691.20
F[2][16]: 518.40
F[3][16]: 115.20
F[4][16]: 0.00
F[5][16]: 0.00
F[1][17]: 691.20
F[2][17]: 518.40
F[3][17]: 115.20
F[4][17]: 0.00
F[5][17]: 0.00
F[1][18]: 691.20
F[2][18]: 518.40
F[3][18]: 115.20
F[4][18]: 0.00
F[5][18]: 0.00
F[1][19]: 691.20
F[2][19]: 518.40
F[3][19]: 115.20
F[4][19]: 0.00
F[5][19]: 0.00
F[1][20]: 691.20
F[2][20]: 518.40
F[3][20]: 115.20
F[4][20]: 0.00
F[5][20]: 0.00
F[1][21]: 691.20
F[2][21]: 518.40
F[3][21]: 115.20
F[4][21]: 0.00
F[5][21]: 0.00

Quantidade de agua armazenada nos reservatorios apos ultimo turno:

A[1][21]: 57.60
A[2][21]: 0.00
A[3][21]: 100.00
A[4][21]: 57.60
A[5][21]: 20.00

Tecle enter para continuar !!!

```