

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Luiz Felipe Schech da Silva

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS:
FERRAMENTAS PARA TOMADAS DE DECISÕES EM
PROJETOS**

Porto Alegre
julho 2012

LUIZ FELIPE SCHECH DA SILVA

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS:
FERRAMENTAS PARA TOMADAS DE DECISÕES EM
PROJETOS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Juan Martín Bravo

Porto Alegre

julho 2012

LUIZ FELIPE SCHECH DA SILVA

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS:
FERRAMENTAS PARA TOMADAS DE DECISÕES EM
PROJETOS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 13 de julho de 2012

Prof. Juan Martín Bravo
Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dieter Wartchow (UFRGS)
Dr. pela Universität Stuttgart

Engenheiro Adalberto Meller
Mestre pela Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Juan Martín Bravo
Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, Ildo Antônio Vieira da Silva e Beatriz Regina Schech da Silva, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Juan Martín Bravo, orientador deste trabalho pelo auxílio na elaboração deste trabalho e pelos conhecimentos transmitidos, bem como, a boa vontade demonstrada ao longo dos dois semestres de elaboração do mesmo.

Agradeço a Profa. Carin Maria Schmitt pelas críticas construtivas que serviram para a elaboração de um trabalho consistente.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para que fosse possível a realização deste trabalho.

Há muitas maneiras de avançar, mas só uma maneira de
ficar parado.

Franklin D. Roosevelt

RESUMO

Este trabalho versa sobre a criação de ferramentas de auxílio a tomada de decisão enquanto ao dimensionamento de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Nesse sentido tabelas e gráficos relacionando as principais variáveis levadas em conta na hora do dimensionamento foram desenvolvidas. As variáveis analisadas foram: área de captação de água pluvial, demanda de consumo de água, volume de um reservatório, perdas na captação da água da chuva e percentual de não atendimento à demanda de uma edificação qualquer. Os dados coletados para a realização do trabalho abrangem uma série diária de chuva de 38 anos (1961 à 1998) e foram obtidos no posto pluviométrico Porto Alegre, código Hidroweb ANA 03051011, da cidade de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul. Para a criação dos gráficos foram feitas simulações variando as áreas de captação de 50 m² até 500 m², o volume do reservatório de 250 à 20000 litros, a demanda de consumo de água de 10 à 20000 L/dia, as perdas na captação de 10 e 20% e avaliado o percentual de falha no atendimento da demanda. Através de um modelo de simulação de balanço hídrico de reservatório, obtiveram-se os resultados usados para a criação das ferramentas de tomada de decisões. Os resultados foram colocados em uma tabela auxiliar com a finalidade de serem combinados, gerando um total de 3084 combinações, para que, a partir deles, pudessem ser criados os gráficos. As ferramentas resultantes foram 14 tabelas e 14 gráficos em que são apresentados dados sobre as cinco variáveis analisadas. Exemplos de utilização desses gráficos e tabelas são ainda apresentados, mostrando-se uma ferramenta de fácil uso e aplicabilidade para as pessoas. Durante o desenvolvimento das simulações, resultados esperados foram verificados, como para uma mesma área de captação à medida que se aumenta o volume do reservatório e diminuí-se a demanda de consumo, o percentual de falha reduz-se. A conclusão anterior é aplicada também para a área de captação, ou seja, mantidas as relações, áreas de captação maiores resultam em percentuais de falhas menores. O oposto vale para as perdas na captação onde valores menores ocasionam percentuais de falha menores.

Palavras-chave: Águas Pluviais. Aproveitamento de Águas Pluviais. Sustentabilidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de pesquisa	16
Figura 2 – Analogia do volume de água na Terra com um reservatório de 1000 litros ...	20
Figura 3 – Distribuição dos recursos hídricos, da superfície e da população – em % do total do Brasil	21
Figura 4 – Uso doméstico da água em Porto Alegre	32
Figura 5 – Área de contribuição das coberturas	42
Figura 6 – Influência do vento na inclinação da chuva	43
Figura 7 – Calha com saída em aresta viva	46
Figura 8 – Calha com funil de saída	47
Figura 9 – Valores médios de precipitação total mensal em cada mês do ano	53
Figura 10 – Valores mínimos de precipitação total mensal em cada mês do ano	53
Figura 11 – Valores máximos de precipitação total mensal em cada mês do ano	54
Figura 12 – Tabela modelo	59
Figura 13 – Tabela auxiliar TA50C01	63
Figura 14 – Gráfico GA50C01	65
Figura 15 – Aplicação da Situação 1 – Volume desconhecido – Gráfico GA50C01	72
Figura 16 – Aplicação da Situação 2 – Demanda desconhecida – Gráfico GA50C01	74
Figura 17 – Aplicação da Situação 3 – Índice de falha aceitável desconhecida – Gráfico GA50C01	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Crescimento da população brasileira e taxa de urbanização	25
Tabela 2 – Coeficientes multiplicativos da vazão de projeto	45
Tabela 3 – Coeficientes de rugosidade	45
Tabela 4 – Capacidade de calhas semicirculares com coeficientes de rugosidade $n = 0,011$ (vazão em L/min)	45
Tabela 5 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazão em L/min)	48
Tabela 6 – Vazão nos pontos de utilização em função do aparelho sanitário e da peça de utilização (NBR 5626/1998).....	50
Tabela 7 – Valores médios, mínimos e máximos dos totais mensais de chuva (em mm)	54
Tabela 8 – Média, mínimo e máximo de dias consecutivos sem chuva (em dias)	55
Tabela 9 – Demanda máxima para falha zero (perda na captação = 0,1)	66
Tabela 10 – Demanda máxima para falha zero (perda na captação = 0,2)	66
Tabela 11 – Volume mínimo de reservatório para atendimento da demanda sem falha (perda na captação = 0,1)	67
Tabela 12 – Volume mínimo de reservatório para atendimento da demanda sem falha (perda na captação = 0,2)	68
Tabela 13 – Área mínima de captação para atendimento da demanda sem falha (perda na captação = 0,1)	69
Tabela 14 – Área mínima de captação para atendimento da demanda sem falha (perda na captação = 0,2)	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	14
2.2 OBJETIVO DA PESQUISA	14
2.2.1 Objetivo Principal	14
2.2.2 Objetivos Secundários	14
2.3 PRESSUPOSTO	15
2.4 PREMISA	15
2.5 DELIMITAÇÕES	15
2.6 LIMITAÇÕES	15
2.7 DELINEAMENTO	16
3 ÁGUA: UM BEM EM ESCASSEZ	18
3.1 DISTRIBUIÇÃO NÃO UNIFORME DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL ..	20
3.2 CONTAMINAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	22
3.3 CRESCIMENTO POPULACIONAL E AUMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA .	24
4 ÁGUAS PLUVIAIS E O SEU APROVEITAMENTO	27
5 SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	34
5.1 PARTES CONSTITUINTES DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	34
5.1.1 Área de captação	36
5.1.2 Calhas	37
5.1.3 Condutores	38
5.1.4 Reservatório	38
5.1.5 Tratamento e filtragem	39
5.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	41
5.2.1 Área de captação	41
5.2.2 Calhas	44
5.2.3 Condutores	45
5.2.4 Reservatório	48
5.2.5 Demandas	50
5.2.6 Perdas na captação	51
6 LEVANTAMENTO DE DADOS, CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS E DESENVOLVIMENTO DO MODELO	52

6.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DA SÉRIE DIÁRIA DE CHUVA	52
6.2 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS	55
6.3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO	57
7 ANÁLISE DOS RESULTADOS	62
7.1 FERRAMENTAS PARA TOMADAS DE DECISÃO	62
7.2 RESUMO DOS RESULTADOS	66
7.3 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA	71
7.3.1 Situação 1 – Volume desconhecido	71
7.3.2 Situação 2 – Demanda desconhecida	73
7.3.3 Situação 3 – Índice de falha aceitável desconhecida	75
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICE A	80
APÊNDICE B	83
APÊNDICE C	86
APÊNDICE D	89
APÊNDICE E	92
APÊNDICE F	95
APÊNDICE G	98
APÊNDICE H	101
APÊNDICE I	104
APÊNDICE J	107
APÊNDICE K	110
APÊNDICE L	113
APÊNDICE M	116
APÊNDICE N	119

1 INTRODUÇÃO

Com o constante crescimento das cidades nas últimas décadas e o aumento populacional o consumo de água aumentou, entretanto, as fontes de água permaneceram as mesmas. Como consequência do aumento do consumo, obteve-se um maior descarte de água na rede pública. Para acompanhar esta nova demanda de água, faz-se necessário, portanto, encontrar diferentes alternativas para suprir esta nova realidade. Juntamente com as águas servidas provenientes do uso em residências, no comércio e na indústria, entre outros, ainda há as pluviais. Estas, muitas vezes presentes em grandes quantidades, acabam por serem descartadas sem nenhum uso. De acordo com Buffon (2010, p. 11), “[...] uma maneira de enfrentar os impactos trazidos pela urbanização, atualmente, é o aproveitamento de águas pluviais como fonte alternativa de abastecimento que contribui para a redução do risco de desabastecimento e do racionamento.”. Pio et al. (2005, p. 21) citam que o sistema de aproveitamento de água pluviais:

[...] implica em otimizar o consumo de água com a conseqüente redução do volume dos efluentes gerados, a partir da otimização do uso [...] e da utilização de água com diferentes níveis de qualidade para atendimento das necessidades existentes, [...] resguardando-se a saúde pública e os demais usos envolvidos, gerenciados por um sistema de gestão da água adequado. [...] Os grandes motivadores para a implantação [...] são:

- a) economia gerada pela redução do consumo de água;
- b) economia criada pela redução dos efluentes gerados;
- c) conseqüente economia de outros insumos como energia e produtos químicos;
- d) redução de custos operacionais e de manutenção dos sistemas hidráulicos e equipamentos da edificação;
- e) aumento da disponibilidade de água (proporcionando, no caso das indústrias, por exemplo, aumento de produção sem incremento de custos de captação e tratamento);
- f) agregação de valor ao “produto”;
- g) redução do efeito da cobrança pelo uso da água;
- h) melhoria da visão da organização na sociedade – responsabilidade social.

As características típicas de qualidade da água de chuva permitem sua utilização para o atendimento de fins não potáveis da água em edificações como, por exemplo, descargas de vaso sanitário, torneiras para irrigação de jardim, lavagem de carros. Isto contribui ao uso racional da água como consequência da substituição da utilização de águas provenientes da rede pública de abastecimento, para atendimento das demandas de usos não potáveis.

Baseando-se nessa perspectiva e na de que é possível se promover um uso racional e sustentável da água, este trabalho tem como objetivo apresentar ferramentas que auxiliem a tomada de decisão em projetos de aproveitamento de águas pluviais fornecendo subsídios para o projetista. O trabalho desenvolveu-se a partir do estudo das chuvas de uma série diária de 38 anos (1961 à 1998) de Porto Alegre verificando o percentual de falhas no abastecimento utilizando diferentes tamanhos de reservatórios, falhas essas que devem ser entendidas como períodos de seca do reservatório nos quais a demanda da edificação não é suprida pelo seu uso. Foram adotadas como variáveis de projeto de aproveitamento de águas pluviais o volume de reservatório, a área de captação de chuva, o percentual de falha aceitável de atendimento à demanda com águas pluviais, a perda na captação e a demanda da edificação. Portanto, adotando-se inicialmente alguma das variáveis, volume do reservatório ou área de captação ou demanda da edificação ou percentual de falha aceitável ou perda na captação, é possível obter valores para as outras variáveis e, conseqüentemente, desta forma realizar um projeto específico para cada situação de interesse.

Feita a apresentação dessa introdução e do método de pesquisa no capítulo 2, o capítulo 3 deste trabalho faz uma abordagem sobre a importância da água para o ser humano salientando os seus diversos usos e benefícios. No mesmo capítulo ainda são apresentados fatores que contribuem para a escassez da água, como, a distribuição não uniforme de recursos hídricos, a contaminação dos recursos hídricos, o crescimento populacional e o aumento do consumo de água.

O capítulo 4 introduz como uma alternativa de uso racional da água o aproveitamento de águas pluviais para os consumos não potáveis da edificação. Também são abordados os benefícios de se adotar tal prática e demonstrados locais de destino para água coletada.

No quinto capítulo é detalhado o sistema de aproveitamento de águas pluviais. O capítulo se divide em duas seções, uma referente à apresentar cada componente do sistema e outra

referente ao dimensionamento de cada componente, são indicadas equações, normas, ábacos e métodos necessários para a realização do mesmo.

O capítulo 6 apresenta dados relativos à série diária da chuva, caracteriza as variáveis do trabalho e desenvolve a tabela modelo. Este capítulo informa qual posto foi usado como fonte de dados, o período analisado e as diferentes estatísticas da série que caracterizam o comportamento dessa variável na região de estudo. São apresentadas as variáveis de dimensionamento do sistema e definidos os valores a serem usados no trabalho. E por último é explicado o desenvolvimento passo à passo da criação da tabela modelo utilizada para obtenção dos resultados nas diferentes análises executadas.

No capítulo 7 são feitas análises dos resultados gerados devido o uso da tabela modelo. São apresentadas as ferramentas para tomada de decisões, bem como resumos de resultados obtidos através das ferramentas. Por fim é apresentado três exemplos de utilização dessas ferramentas em diferentes situações de dimensionamento do sistema.

Por fim, no último capítulo são feitas as considerações finais à respeito do trabalho. São relatadas as conclusões acerca do uso da ferramenta de tomada de decisões desenvolvida.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: qual o volume de reservatório para água da chuva, para uma área de captação qualquer de uma edificação, considerando que o projetista aceite o risco de se ter determinados períodos nos quais a demanda da edificação não seja por ele suprida?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é a elaboração de ferramentas que, para uma área de captação de chuva qualquer numa edificação, auxiliem a tomada de decisões em projetos de aproveitamento de águas pluviais considerando-se determinado risco de se ter períodos nos quais a demanda da edificação não seja suprida por esse reservatório.

2.2.2 Objetivos Secundários

Os objetivos secundários do trabalho são a verificação:

- a) do volume do reservatório necessário para atender uma determinada demanda a partir de uma área de captação conhecida;
- b) da frequência em que a demanda de consumo solicitada por cada edificação não é suprida pelo volume de água de chuva reservada.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que o Método da Simulação apresentado no Anexo A da NBR 15527/2007 – Água de Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis – Requisitos – é considerado válido e será o método utilizado para o cálculo do volume de um reservatório.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa a preocupação com a escassez de água visando gerar uma economia deste bem através do seu uso sustentável.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à cidade de Porto Alegre uma vez que os índices pluviométricos adotados foram os desta cidade.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

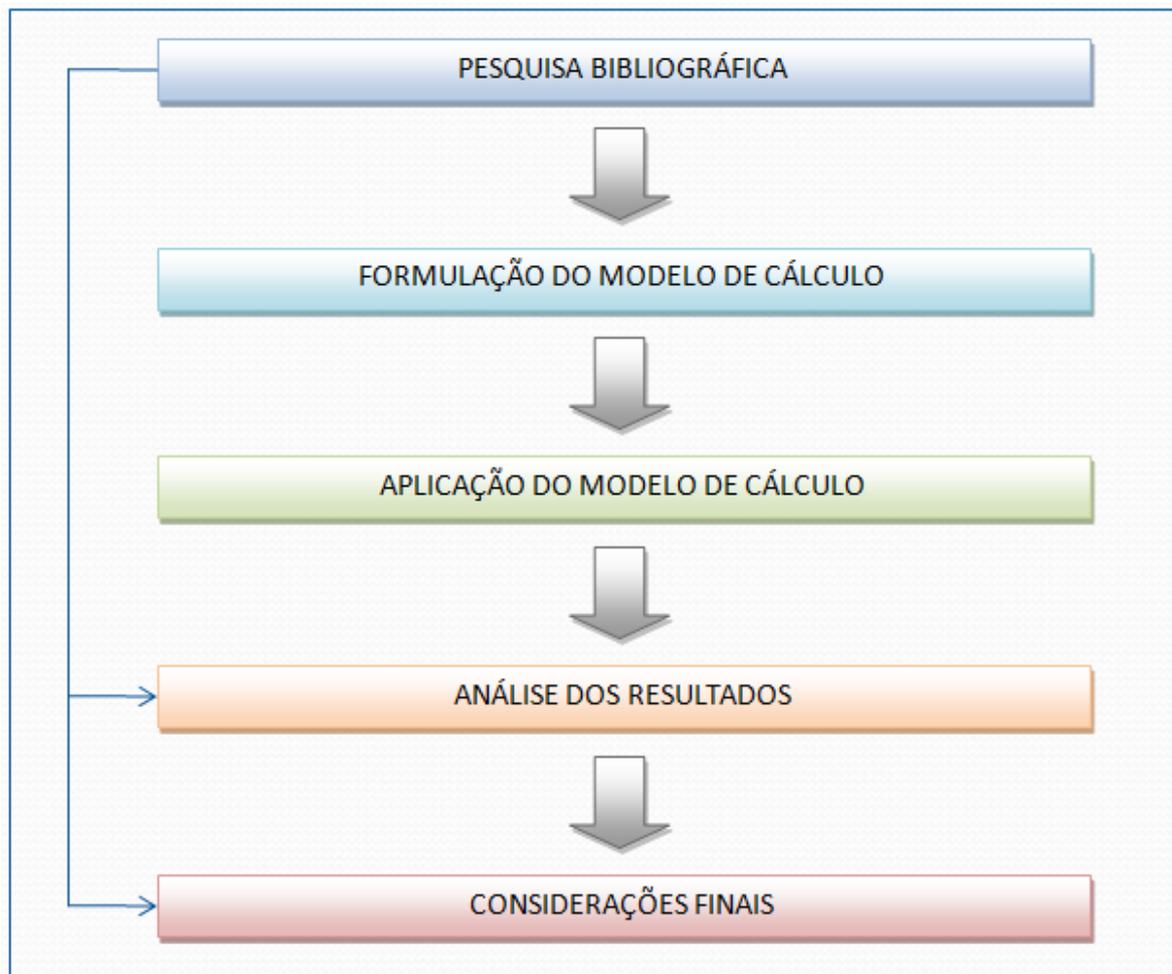
- a) o uso de uma única série diária de chuvas de 38 anos (1961 à 1998) de Porto Alegre para os cálculos;
- b) o uso do programa *Microsoft Excel* para a apresentação dos resultados em forma de gráficos e tabelas;
- c) o uso dos coeficientes de 10 e 20% para perdas na captação;
- d) o uso das áreas de captação de 50, 100, 150, 200, 250, 300 e 500 m²;
- e) o uso das demandas de consumo de água entre 10 e 20000 litros por dia;
- f) o uso dos volumes de reservatório entre 250 e 20000 litros em função das dimensões fornecidas pelos fabricantes;
- g) o uso de valores de precipitação pluviométrica superiores à 0,2 milímetros como volumes a serem considerados de entrada no sistema;
- h) o uso do valor 1 para o coeficiente de escoamento superficial.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 1 e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) formulação do modelo de cálculo;
- c) aplicação do modelo de cálculo;
- d) análise dos resultados;
- e) considerações finais.

Figura 1 – Etapas de pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Inicialmente, realizou-se a **pesquisa bibliográfica**, que teve como objetivo o estudo e a coleta de dados que serviram como embasamento para o desenvolvimento do trabalho. Nesta etapa foram obtidos dados sobre:

- a) sistemas de captação de águas pluviais;
- b) sistemas de aproveitamento de águas pluviais;
- c) consumos de águas não-potáveis;
- d) desenvolvimentos sustentáveis;
- e) usos racionais da água;
- f) modelos matemáticos para dimensionamento de sistemas de aproveitamento de águas pluviais;
- g) impactos do aproveitamento de águas pluviais na rede pública;
- h) ciclos hidrológicos.

A etapa seguinte de **formulação do modelo de cálculo** consistiu na definição e caracterização dos dados e variáveis dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais de uma edificação qualquer, assim como o desenvolvimento de um modelo de balanço hídrico, no *software Microsoft Excel*, para avaliar a relação entre as variáveis volume do reservatório, área de captação de chuva, percentual de falha de atendimento da demanda, perdas na captação e demanda solicitada pela edificação no local de estudo.

A próxima etapa deste trabalho contou com a **aplicação do modelo de cálculo** desenvolvido na etapa anterior. Foram utilizados diferentes valores das variáveis analisadas que resultaram no fornecimento de dados para a criação de gráficos relacionando as variáveis propostas neste trabalho. O modelo criado foi executado de acordo com índice pluviométrico de Porto Alegre para uma série de 38 anos.

Na etapa de **análise dos resultados** foram desenvolvidos, a partir dos resultados obtidos na etapa anterior, gráficos relacionando às variáveis volume de reservatório, área de captação, falha de atendimento da demanda da edificação, perdas na captação e demanda solicitada pela edificação. Gráficos estes que foram o produto final deste trabalho e que tem por finalidade servir de subsídios para a tomada de decisão do projetista.

O trabalho foi encerrado com as **considerações finais** sobre os resultados apresentados no trabalho.

3 ÁGUA: UM BEM EM ESCASSEZ

Como salienta Buffon (2010, p. 6), “A água é essencial à existência e manutenção da vida, ao bem-estar social e ao desenvolvimento socioeconômico.”. Sua utilização é destinada aos mais variados fins, tais como:

- a) uso doméstico;
- b) irrigação;
- c) ajardinamento;
- d) recreação;
- e) lazer;
- f) paisagismo;
- g) fonte de energia elétrica;
- h) higienização pessoal;
- i) hidratação;
- j) navegação.

A Lei n. 9.433 (BRASIL, 1997, p. [1]), mais conhecida como Lei das Águas, no seu art. 1. regulamenta que:

- a) a água é um bem de domínio público;
- b) a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- c) em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- d) a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- e) a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- f) a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Baseando-se na importância que exerce na vida dos seres humanos, considera-se importante estabelecer um equilíbrio entre oferta e demanda de água e garantir a sustentabilidade do desenvolvimento econômico e social sendo necessário que métodos e sistemas alternativos

modernos sejam convenientemente desenvolvidos e aplicados em função de características de sistemas e centros de produção específicos, “[...] tendo em vista que a disponibilidade *per capita* de água doce vem sendo reduzida rapidamente, face ao aumento gradativo da demanda para seus múltiplos usos e à contínua poluição dos mananciais ainda disponíveis.” (PIO et al., 2005, p. 10). Problemas como a geração de efluentes e o consumo excessivo de água podem ser combatidos com programas de conservação de água.

Dados revelam que “Dos aproximados 70% de água de que é composta a superfície do planeta Terra, 97,47% é água salgada, 1,74% está contido nos pólos e geleiras, 0,76% são águas subterrâneas e apenas 0,03% é água superficial [...]” (MORÉS¹, 2006, p. 16 apud COELHO, 2007, p. 19). A figura 2 relaciona de uma forma mais simples a volumetria de água presente na Terra com um reservatório de 1000 litros. Portanto, considerando-se que águas salgadas não são próprias para consumo humano sem tratamento prévio e que águas presentes em pólos, geleiras e camadas subterrâneas necessitam maior trabalho para sua aquisição, sendo muitas vezes inviável, resta apenas uma quantidade muito inferior a 1% para consumo humano imediato. Mesmo com uma porcentagem tão pequena de água disponível para consumo humano imediato estudos realizados demonstram que no Brasil 46% da água que é coletada é perdida, com esse percentual seria possível abastecer a França, a Suíça, a Bélgica e o norte da Itália ao mesmo tempo (NEUTZLING², 2004 apud DREHER, 2008, p. 23).

Nas seções seguintes deste capítulo, são apresentados os fatores que motivam a aplicação de sistemas de aproveitamento de água. Os fatores que serão abordados são:

- a) a distribuição não uniforme de recursos hídricos no Brasil;
- b) a contaminação dos recursos hídricos;
- c) o crescimento populacional e o aumento do consumo de água.

¹ MORÉS, F. V., **Reaproveitamento de águas de chuva em condomínios residenciais e comerciais na cidade de Porto Alegre**. 2006. 38 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. → Não disponível no LUME.

² NEUTZLING, I. (Org.). **Água: bem público universal**. São Leopoldo: UNISINOS, 2004.

Figura 2 – Analogia do volume de água na Terra com um reservatório de 1000 litros



(fonte: MANO, 2004, p. 25)

3.1 DISTRIBUIÇÃO NÃO UNIFORME DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

O Brasil pode ser considerado um país privilegiado em relação aos recursos hídricos, uma vez que possui grande disponibilidade de reservas naturais de água doce em seu território. De acordo com a Universidade da Água³ (2007 apud COELHO, 2007, p. 19):

[...] o Brasil detém aproximadamente 11,6% da água doce superficial do Mundo. Porém cerca de 70% dessa água se encontra na região amazônica, sendo que os outros 30% estão distribuídos irregularmente pelas outras regiões, para atender a 93% da população.

Observando-se os dados citados pode-se, em uma primeira análise, concluir que todas as regiões do Brasil são bem abastecidas de água, uma vez que 11,6% das águas superficiais do Mundo estão em território Nacional. Entretanto, esta afirmação não pode ser considerada

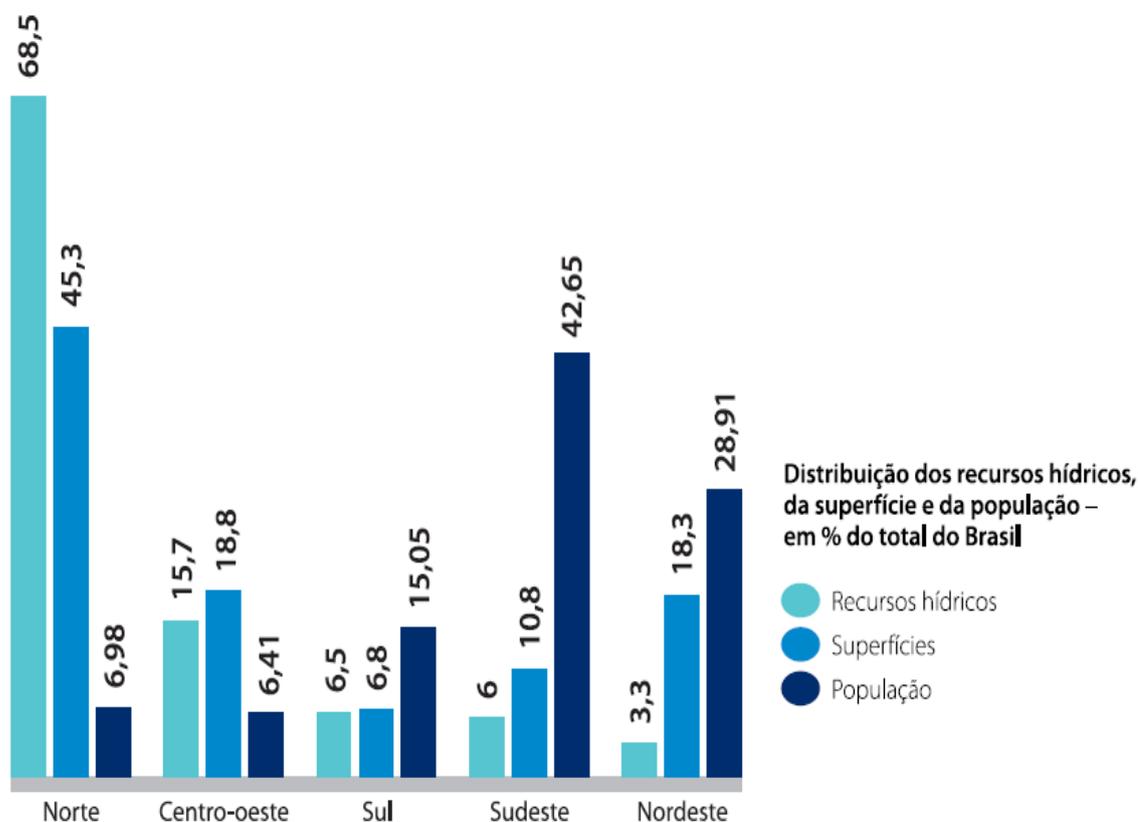
³ UNIVERSIDADE DA ÁGUA. Disponível em: <<http://www.uniagua.org.br/website/default.asp?tp=3&pag=aguaplaneta.htm>>. Acesso em: 25 maio 2007. → Site indisponível em: 3 maio 2012.

como verdadeira, visto que a distribuição dos recursos hídricos não se dá de maneira uniforme, existindo regiões onde a escassez de água chega a índices alarmantes. Regiões áridas e semi-áridas do Brasil são as mais afetadas com esta distribuição irregular de água tendo muitas vezes que encontrar maneiras alternativas para combatê-la. Além das regiões já mencionadas, de acordo com Gonçalves⁴ (2006 apud DREHER, 2008, p. 23):

[...] a escassez de água em regiões urbanas, por exemplo, leva grandes contingentes populacionais ao sofrimento, além de limitar a atividade econômica e retardar o progresso. Essa é a realidade em várias cidades brasileiras onde o abastecimento encontra-se ameaçado por problemas relacionados tanto com a quantidade, quanto a qualidade de água.

Outro exemplo de distribuição irregular de recursos hídricos é a Bacia Amazônica, onde vive 5% da população e estão concentradas 70% das águas do território brasileiro. A figura 3 apresenta valores relativos à má distribuição de recursos hídricos no Brasil.

Figura 3 – Distribuição dos recursos hídricos da superfície e da população – em % do total do Brasil



(fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR, [20--?])

⁴ GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

Adotando-se uma perspectiva mais global os dados são ainda mais preocupantes, segundo Tucci (2005, p. 22, 24-25), “Existem várias regiões vulneráveis, onde cerca de 460 milhões de pessoas (aproximadamente 8% da população mundial) estão vulneráveis à falta frequente de água e cerca de 25% estão indo para o mesmo caminho.”. O mesmo autor destaca que “Mesmo regiões hoje bem servidas podem vir, facilmente, a enfrentar a escassez de água bastando apenas que seus cursos d’água sejam contaminados e medidas de controle não sejam tomadas.”.

3.2 CONTAMINAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Além da distribuição espacial não uniforme das reservas de água, outro fator que deve ser considerado como motivador para a adoção de sistemas de conservação de água é a degradação ambiental que os recursos hídricos vêm sofrendo com as atividades humanas irresponsáveis ao longo dos anos. Atualmente cerca de 2 milhões de toneladas de despejos são jogados diariamente nos cursos d’água (trabalho não publicado)⁵.

Afirma-se que, “A poluição dos recursos hídricos pode ser originada por processos naturais ou antropogênicos de natureza orgânica ou mineral, radioativa, termal, doméstica ou industrial.” Os poluentes podem chegar aos mananciais de forma pontual, ou seja, concentrada no tempo e espaço ou de forma difusa, sendo o poluente distribuído ao longo do curso d’água (trabalho não publicado)⁶.

Tucci (2005, p. 23) afirma que:

No passado, quando as cidades eram menores, a população retirava água à montante do rio e despejava, sem tratamento, a jusante, poluindo os rios e deixando para a natureza a função de recuperar sua qualidade. Os impactos eram menores em virtude do baixo volume de esgoto despejado em comparação com a capacidade de diluição dos rios. Com o aumento da urbanização e com o uso de produtos químicos na agricultura e no ambiente em geral, a água utilizada nas cidades, nas indústrias e na agricultura retorna aos rios totalmente contaminada e em grande quantidade. Além disso, com o aumento da população, sempre haverá uma cidade a montante e outra a

⁵ Apostila Tratamento de Água e Esgotos da disciplina IPH 2050 – Tratamento de Água e Esgotos do professor Luiz Olinto Monteggia para alunos que cursavam a disciplina no ano de 2011 do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

⁶ Apostila Qualidade das Águas Naturais: introdução ao tratamento de água para consumo humano da disciplina IPH 214 – Tratamento de Água da professora Carmen Maria Barros de Castro disponível no *site* <<http://moodleinstitucional.ufrgs.br>> para alunos que cursavam a disciplina no ano de 2010 do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

jusante, contaminando o manancial superficial, as diferentes camadas do subsolo e o manancial subterrâneo.

Levando em conta que os “Mananciais das águas urbanas são fontes de água para abastecimento humano, animal e industrial.” e que “Essas fontes podem ser superficiais e subterrâneas.” devem ser tomadas medidas de preservação e controle, dada a importância que possuem para o abastecimento do meio urbano (TUCCI, 2005, p. 21). Entretanto, muitas vezes isso não ocorre, sendo os mananciais seriamente atingidos por despejos de poluentes.

O processo de contaminação dos mananciais tem como origem segundo Tucci (2005, p. 24):

- a) despejo sem tratamento dos esgotos cloacais nos rios, contaminando os rios que possuem capacidade limitada de diluição. Isso ocorre por conta da falta de investimento sanitário e de estações de tratamento que, quando existem, apresentam baixa eficiência;
- b) despejo dos esgotos pluviais, que transportam grande quantidade de poluição orgânica e de metais, que atinge os rios nos períodos chuvosos. Essa é uma das mais importantes fontes de poluição difusa;
- c) contaminação das águas subterrâneas por despejos industriais e domésticos, através das fossas sépticas, do vazamento dos sistemas de esgoto sanitário e pluvial;
- d) depósitos de resíduos sólidos urbanos, que contaminam as águas superficiais e as subterrâneas, funcionando como fonte permanente de contaminação;
- e) ocupação do solo urbano sem controle do seu impacto sobre o sistema hídrico.

De acordo com a Agenda 21 Brasileira (BRASIL⁷, 2002 apud MANO, 2004, p. 27) :

[...] 61% da população brasileira se abastecem de mananciais de superfície, tais como poços rasos (6%), em nascentes e fontes (12%) e poços profundos (43%). Estes percentuais alertam para análise da situação de potabilidade de tais mananciais. Silva⁸ (1998) afirma que, apesar do avanço conseguido no setor de abastecimento nos últimos anos, constata-se que a água distribuída nem sempre é de boa qualidade devido à contaminação dos mananciais por esgotos domésticos, industriais e defensivos agrícolas, além de riscos de contaminação por infiltração de esgotos na rede de distribuição. Brasil⁹ (2002) indica ainda que não se tem um controle a respeito das condições de degradação e poluição dos mananciais.

⁷ BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento. **Agenda 21 Brasileira**: resultado da consulta nacional. Brasília, DF, 2002.

⁸ SILVA, E. R. A. **O curso da água na história**: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos. 1998. 210 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1998.

⁹ BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento. **Agenda 21 Brasileira**: resultado da consulta nacional. Brasília, DF, 2002.

A Organização Pan-Americana de Saúde et al.¹⁰ (2000 apud MANO, 2004, p. 26) divulgou índices em 2000 alertando que:

- a) a água, além de estar cada vez mais escassa, está se convertendo em um elemento que não pode ser utilizado para a maioria dos usos humanos e para ativar o processo da vida, devido a seus níveis de contaminação;
- b) as doenças diarréicas causaram mais de 3 milhões de mortes no mundo em 1995, das quais cerca de 80% foram crianças menores de 5 anos;
- c) nos países em desenvolvimento, 80% das enfermidades e 33% das mortes ocorrem por deficiências na água potável;
- d) 65% das internações hospitalares e 80% das consultas médicas se devem a doenças relacionadas com a falta ou inadequada qualidade da água e do saneamento.

Assim como a Organização Panamericana de Saúde (OPS), o documento Agenda 21 (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS¹¹, 2000 apud BUFFON 2010, p. 23-24) foi gerado no intuito de estabelecer uma:

[...] cooperação de toda sociedade em busca de soluções para os problemas socioambientais mundiais, para a sustentabilidade dos recursos hídricos, [sendo] [...] necessário assegurar que se mantenha uma oferta adequada de água de boa qualidade para toda a população do planeta, ao mesmo tempo em que se preservem as características hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas, adaptando-se as atividades humanas aos limites da capacidade da natureza para combater a degradação da qualidade das águas e assegurar sua disponibilidade.

3.3 CRESCIMENTO POPULACIONAL E AUMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA

Nas últimas décadas a população brasileira cresceu e esse crescimento pôde ser notado principalmente nas áreas urbanas. Como consequência houve uma elevação no consumo de água nessas regiões. A tabela 1 demonstra dados sobre o crescimento da população brasileira e a taxa de urbanização.

¹⁰ ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE; ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE; ASSOCIAÇÃO INTERAMERICANA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL; ASSOCIAÇÃO CARIBENHA DE ÁGUA E ÁGUAS RESIDUAIS. **Água, cada gota conta – vamos usá-la com sabedoria:** guia de trabalho sobre água. Lima: CEPIS, 2000.

¹¹ ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 21:** capítulo 18, proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <www.preservacaolimeira.com.br/agenda-21/linha18.htm>. Acesso em: 7 mar. 2010.

Tabela 1 – Crescimento da população brasileira e taxa de urbanização

Ano	População (milhões de habitantes)	Parcela da população urbana (%)
1970	93,1	55,9
1980	118	68,2
1991	146,8	75,6
1996	157,1	78,4
2000	169	81,1

(fonte: adaptado de TUCCI¹², 2002, p. 5 apud BUFFON, 2010, p. 27)

Tomando-se uma visão mais global da atual situação, o crescimento populacional gerou um aumento na demanda de alimentos que, por sua vez, visando suprir essa necessidade, elevou a sua produtividade e conseqüente consumo de agrotóxicos e fertilizantes. Esse fato contribuiu para o aumento da produção de esgotos, sendo necessária a intervenção de processos de tratamento químico, físico e biológico para tornar a água própria ao consumo humano novamente. Países mais pobres são os mais afetados com o crescimento populacional desordenado, uma vez que não possuem infraestrutura adequada de esgotamento sanitário e de controle de poluição nos efluentes (trabalho não publicado)¹³.

Com o aumento populacional as zonas urbanas estão cada vez mais ocupadas o que gera uma grande concentração em pequenas áreas causando problemas na infraestrutura e na urbanização. Tucci (2005, p. 20) afirma ainda que “A urbanização é espontânea e o planejamento urbano é realizado para as áreas da cidade ocupadas pela população de renda média e alta.” deixando a parte da população de baixa renda em situação desfavorável ao recebimento de águas de boa qualidade.

De acordo com o que fora dito no início deste capítulo, quando se afirmou que apenas 0,03% das águas presentes no planeta Terra são superficiais, existe ainda “[...] o agravante de nos últimos 50 anos o consumo dessa pequena quantidade de água disponível ter aumentado de

¹² TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-25, jan./mar. 2002. Disponível em: <www.rhama.net/download/artigos/artigo15.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2010.

¹³ Apostila Qualidade das Águas Naturais: introdução ao tratamento de água para consumo humano da disciplina IPH 214 – Tratamento de Água da professora Carmen Maria Barros de Castro disponível no *site* <<http://moodleinstitucional.ufrgs.br>> para alunos que cursavam a disciplina no ano de 2010 do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

1060 km³/ano para 4130 km³/ano no Mundo.” o que torna a situação mundial ainda mais delicada (MORÉS^{14 15}, 2006, p. 14 apud COELHO, 2007, p. 19).

Este crescimento populacional pode ser elucidado também na afirmação de Tucci (2005, p. 22) que salienta que:

Em nosso planeta, o total de água globalmente retirado de rios, aquíferos e outras fontes aumentou cerca de nove vezes, enquanto o uso por pessoa dobrou e a população está três vezes maior. Em 1950, as reservas mundiais representavam 16,8 mil m³/pessoa; atualmente esta reserva reduziu-se para 7,3 mil m³/pessoa, e espera-se que venha a se reduzir para 4,8 mil m³/pessoa nos próximos 25 anos, como resultado do aumento da população, da industrialização, da agricultura e da contaminação.

De acordo com as projeções das Nações Unidas a estabilização da população mundial ocorrerá somente em 2150 (TUCCI, 2005, p. 17). Essa informação leva a necessidade de tomar medidas para que sejam implantados sistemas de conservação de água, temendo a possível escassez deste bem causada pelo longo período de crescimento populacional.

¹⁴MORÉS, F. V., **Reaproveitamento de águas de chuva em condomínios residenciais e comerciais na cidade de Porto Alegre**. 2006. 38 f. Trabalhos de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

¹⁵ Morés (2006) indica que a informação foi encontrada no trabalho de Lemos (2003).

4 ÁGUAS PLUVIAIS E O SEU APROVEITAMENTO

Em tempos em que se tem um alto consumo de água e uma conseqüente redução da quantidade deste bem o aproveitamento de águas pluviais aparece como uma ótima solução para tal problema. A perceber isso é salientado por Buffon (2010, p. 17) que, “A chuva é um dos fenômenos do ciclo hidrológico que é mais facilmente percebido pela sociedade no meio urbano [...]”. O sistema de circulação atmosférico é extremamente dinâmico e não-linear o que dificulta que sejam feitas previsões quantitativas mais precisas sobre o processo. Entretanto, a partir de estimativas podem ser obtidos dados importantes para a compreensão de seu funcionamento. Dentre vários intervenientes do sistema está a precipitação, que pode ser medida através do uso de um pluviômetro, aparelho este que tem por finalidade registrar os valores precipitados em um ponto ao longo de intervalos de leitura sucessivos, tipicamente espaçados em um dia. Com os dados recolhidos pelo pluviômetro é possível obter uma série histórica de chuvas e, então, realizar análises e previsões sobre o seu comportamento.

A escolha pela adoção de um sistema de aproveitamento de água da chuva faz parte do Programa de Conservação de Água que tem como objetivo segundo Pio et al. (2005, p. 21):

- a) otimização do consumo de água;
- b) redução dos volumes de efluente gerados,
- c) otimização do uso (gestão da demanda);
- d) utilização de água com diferentes níveis de qualidade para atendimento das necessidades existentes (gestão de oferta).

Muitas vezes presentes em grandes quantidades, as águas pluviais se reservadas e utilizadas de maneira correta podem ser uma forte aliada ao combate da escassez em regiões desprivilegiadas, bem como podem ser uma alternativa para amenizar problemas de populações de baixa renda que possuem acesso limitado à água de boa qualidade. Tomando como perspectiva não apenas o uso das águas pluviais como uma solução alternativa para problemas de escassez e carência de água de boa qualidade, há também o fato de que no momento em que são aproveitadas ocorre uma promoção do seu uso sustentável gerando benefícios, no sentido que podem ser reduzidos:

- a) desperdícios das águas pluviais;
- b) consumos de água da fonte abastecedora;
- c) consumos com energia elétrica.

Com a implantação de sistemas de aproveitamento, **os desperdícios das águas pluviais** são reduzidos, uma vez que, em geral, atualmente, pouca atenção é dada para este tipo de água. Isso ocorre, principalmente, em edificações residenciais, em locais nos quais há boa disponibilidade de água potável, não sendo implantado algum tipo de sistema para captação para posterior utilização. Em Porto Alegre, na maioria dos casos as águas simplesmente escoam pela superfície da edificação e são descartadas para rede pública.

Mais um benefício, que é obtido através do uso do sistema apresentado neste capítulo, é a redução do **consumo de água da fonte abastecedora**. Uma vez implantado e em funcionamento o consumo de água é reduzido, já que há a possibilidade do uso da água coletada para fins não potáveis dentro da edificação. De acordo com Koenig¹⁶ (1999 apud MANO, 2004, p. 77) “[...] a economia em água potável da rede, através do uso da água captada nos telhados, pode chegar a 50% estando distribuída em 33% para as bacias sanitárias, 13% para lavagem de roupas e 4% para a lavagem de piso e jardinagem.”.

Muitas zonas necessitam que bombas sejam utilizadas para a distribuição de água a toda população. Em virtude deste recalque necessário é demandado então um alto **consumo com energia elétrica** que pode ser reduzido com o emprego de sistemas de reservação de águas da chuva. Partindo da linha de pensamento que com a diminuição de demanda de água potável pela população a fonte provedora necessita fornecer menos água se conclui que ela opera menos e, portanto, gasta menos energia, podendo também atender o aumento da demanda sem a necessidade de ampliação do sistema.

Reforçando a importância do uso das águas pluviais que foram apresentadas nos últimos parágrafos, Tucci et al.¹⁷ (1995, apud MANO, 2004, p. 51):

¹⁶ KOENIG, K. W. Rainwater Utilization Facilities and Equipment. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFICIENT WATER USE IN URBAN AREAS, 1999, Kobe. **Anais eletrônicos...** Kobe: UNEP; IETEC, 1999. Disponível em: <<http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/ReportSeries/IETCRep9/4.paper-B/4-B-koen1.asp>>. Acesso em 5 abr. 2003. Não é possível mais o acesso ao *site*.

¹⁷ TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. (Org.) **Drenagem Urbana**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade, 1995.

[...] colocam que a captação da água da chuva pode contribuir fortemente na minimização dos picos de volume nos leitos dos rios, através da retenção temporária das máximas de chuva, retirando o excesso de volume d'água sobre as superfícies impermeáveis e armazenado em reservatórios, diminuindo desta maneira a magnitude das enchentes. Acrescenta, ainda, que a demanda de água no sistema de abastecimento convencional sofreria significativa diminuição, contribuindo para a economia do sistema.

Group Raindrops (2005, p. 92) indica ainda que:

A tecnologia que dá suporte para o aproveitamento da água da chuva é uma somatória das seguintes técnicas:

- a) coleta da água da chuva que cai no telhado, além de outros locais;
- b) armazenamento da água da chuva em tanques e reservatórios;
- c) tratamento e melhora da qualidade da água da chuva;
- d) abastecimento da água da chuva aos locais de seu uso;
- e) drenagem do excesso da água da chuva devido no caso de chuvas intensas;
- f) completar a falta de água da chuva com água de abastecimento em tempo seco;
- g) eliminação da água do início da chuva, quando esta estiver suja.

Observando o último item da lista do *Group Raindrops* referente à eliminação da água do início da chuva quando esta estiver suja, Tomaz¹⁸ (2003 apud GOMES et al., 2010, p. 91) sugere “[...] a eliminação de 1 mm de chuva por m² de área de captação.”. A eliminação da primeira porção é uma forma de prevenir a contaminação das águas coletadas por poluentes dispersos na atmosfera. De acordo com a Universidade da Água¹⁹ (2007 apud COELHO, 2007, p. 27) uma pesquisa realizada na Universidade da Malásia apontou que apenas as primeiras águas da chuva são prejudiciais, contendo nelas ácidos, microorganismos e outros tipos de poluentes atmosféricos, porém, passado algum tempo a água apresenta características de água destilada.

Pio et al. (2005, p. 61) informam que “Atualmente o aproveitamento de águas pluviais em regiões áridas e semi-áridas é prática comum em muitas regiões do mundo, inclusive no Brasil.”. Os mesmos autores ressaltam ainda que para que se obtenha um bom resultado com a

¹⁸ TOMAZ, P. **Aproveitamento de água da chuva:** aproveitamento de água da chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar, 2003.

¹⁹ UNIVERSIDADE DA ÁGUA. Disponível em: <http://www.uniagua.org.br/website/default.asp?tp=3&pag=aguaplaneta.htm>. Acesso em: 25 mai.2007. Não é possível mais o acesso ao *site*.

utilização das águas pluviais como fonte alternativa para abastecimento necessita-se de gestão da qualidade e da quantidade.

Reforçando a idéia de que sistemas de captação para aproveitamento de águas da chuva é uma alternativa viável, eficaz e sustentável Morés²⁰ (2006, p. 15 apud COELHO, 2007, p. 20), ressalta que “[...] o grande desafio dos próximos anos será atender à crescente demanda por água potável, e o investimento em sistemas alternativos de conservação de água, como o aproveitamento de águas pluviais, é um grande aliado, uma vez que o insumo tende à escassez.”.

Bohara²¹ (1999 apud MANO, 2004, p. 51) apresenta vantagens que podem ser obtidas com o uso da água da chuva:

- a) o mínimo esforço exigido para obter e manter a qualidade desta água para o uso;
- b) a independência dos sistemas de captação no nível doméstico;
- c) a simplicidade para construção e manutenção dos sistemas;
- d) os baixos níveis de impacto ambiental exigidos;
- e) a redução da erosão do solo e dos riscos de enchente pela interceptação da força das águas de chuva;
- f) o incremento dos lençóis pela redução na extração de água dos mesmos.

Já existem no Brasil alguns exemplos de captação e utilização das águas da chuva. Segundo Gomes et al. (2010, p. 91):

[...] na região Nordeste do Brasil, a população que sofre com a escassez da água “acostumou-se” a armazenar a água da chuva em cisternas. Outro exemplo vem de um posto de gasolina em Uberlândia, cujo proprietário capta água da chuva de um telhado de 90 m² e conduz para um reservatório de 30.000 L para posterior lavagem de veículos. Supermercados também vêm tornando cada vez mais frequente o

²⁰ MORÉS, F. V. **Reaproveitamento de águas de chuva em condomínios residenciais e comerciais na cidade de Porto Alegre**. 2006. 38 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

²¹ BOHARA, R. C. Rainwater Catchment in Nepal: an answer to the water scarcity problem of the next millenium. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA , 2.; CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA, 9. 1999, Petrolina. **Anais eletrônicos...** Petrolina: ABCMAC; EMBRAPA; IRPAA; Universidade Estadual da Bahia, 1999. Disponível em: <http://www.cpsa.embrapa.br/doc/strategy/1_7_Ramesh_Bohara.doc> . Acesso em: 7 mar. 2003. Não é possível mais o acesso ao *site*.

armazenamento da água da chuva para a limpeza de áreas como pisos entre outros (SILVA; TASSI²², 2005).

Segundo Coelho (2007, p. 12), “Já existem municípios no Brasil nos quais o aproveitamento da água é compulsório, como Guarulhos, Curitiba, São Paulo e Rio de Janeiro, que já aprovaram leis que tratam especificamente deste assunto.”. Morés²³ (2006, p. 13 apud COELHO, 2007, p. 23) cita que:

Em diversos países do Mundo já existem leis que incentivam ou até obrigam a captação da água da chuva. ‘Hamburgo, por exemplo, foi o primeiro estado alemão a implantar o sistema de captação da água de chuva, oferecendo de US\$ 1.500,00 a US\$ 2.000,00 a quem aproveitasse a água da chuva.’.

Outro exemplo de aproveitamento de águas pluviais, ocorre na ilha de *Oahu*, no Havaí, onde vivem 1,16 milhões de moradores e 6 milhões de turistas a visitam por ano. A região das colinas que não recebe abastecimento de água da cidade e a região do lado oeste das montanhas que não possui água subterrânea devido à escassa precipitação obrigou a população a tomar medidas para que as necessidades de consumo fossem atendidas. Para tal, foi implantado o sistema de captação da água das chuvas. A água captada é utilizada para todos os fins do dia-a-dia, inclusive para beber e 110 casas já fazem uso deste sistema. Imagina-se que os havaianos se beneficiem com este sistema há aproximadamente 120 anos, devido ao fato de existir um tanque de reservação com esta data na ilha. O tanque de madeira de Sequóia possuía uma capacidade em torno de 20 à 50 m³ (GROUP RAINDROPS, 2002, p. 140). No caso da ilha havaiana a água da chuva era consumida para beber sendo que, no Brasil, para esta finalidade o seu uso sem tratamento específico é vetado por não atender aos padrões de potabilidade da Portaria MS n. 2914, de 12 de dezembro de 2011.

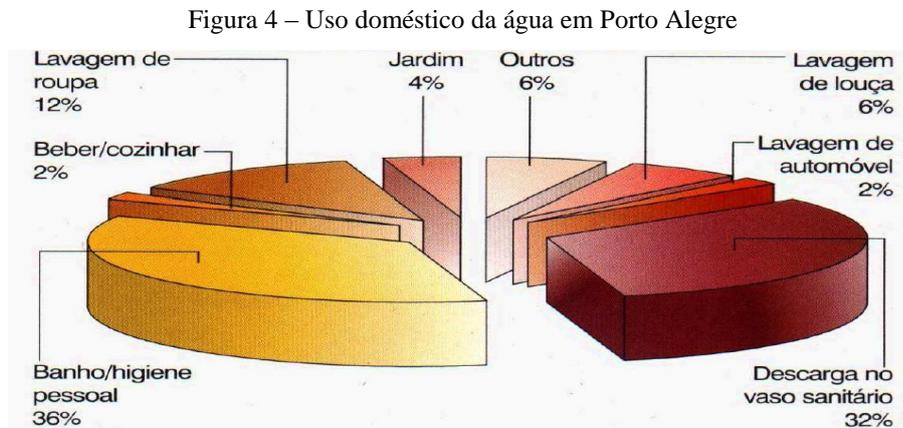
²² SILVA, A. R. V.; TASSI, R. Dimensionamento e simulação do comportamento de um reservatório para aproveitamento de água de chuva: Resultados preliminares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2005. 1 CD.

²³ MORÉS, F. V., **Reaproveitamento de águas de chuva em condomínios residenciais e comerciais na cidade de Porto Alegre**. 2006. 38 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

O uso da água com fins não potáveis é destinado às mais variadas necessidades. Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente²⁴ (2002 apud MANO, 2004, p. 77-78) afirma que o consumo médio diário de água é de:

- a) 36% na descarga do banheiro;
- b) 31% em higiene corporal;
- c) 14% na lavagem de roupas;
- d) 8% na rega de jardins, lavagem de automóveis, limpeza de casa, atividades de diluição e outras;
- e) 7% na lavagem de utensílios de cozinha
- f) 4% para beber e alimentação.

A figura 4 apresenta dados obtidos através da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para o uso doméstico da água em Porto Alegre.



(fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL et al.²⁵, 1998 apud MANO, 2004 p. 78)

Os percentuais apresentados até o momento são para edificações residenciais. Pio et al. (2005, p. 19) informam que:

²⁴ CENTRO PAN-AMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E CIÊNCIAS DO AMBIENTE. **Água:** não ao desperdício e não à escassez. Lima: CWWA; AIDIS; CEPAL; OEA; OPS/OMS; PNUMA/ORPALC, 2002. Dia Interamericano da Água (DIAA).

²⁵ UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL; PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Ambiental de Porto Alegre.** Porto Alegre: Editora da Universidade, 1998.

[...] nas edificações públicas, como escolas, universidades, hospitais, terminais de passageiros de aeroportos, entre outros, o uso da água é muito semelhante ao das edificações comerciais, porém o uso dos ambientes sanitários é bem mais significativo, variando de 35% a 50% do consumo total.

Este trabalho terá como foco a cidade de Porto Alegre e, segundo o Decreto n. 9369 (PORTO ALEGRE, 1988, p. 23), da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, o consumo diário por habitante em prédios residenciais é de 200 litros para fins de projeto de abastecimento.

5 SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Na maioria das vezes os sistemas de aproveitamento de águas pluviais funcionam como um complemento à forma de abastecimento convencional da rede atendendo as demandas de água não-potáveis podendo em outros casos, nos quais utiliza-se processos de tratamento de água a fim de que esta adquira sua potabilidade, cobrir totalmente (MANO, 2004, p. 55). O autor ainda afirma que este sistema é uma alternativa barata e sustentável para o futuro. Frente à importância da água para o ser humano o aproveitamento de água da chuva é uma questão que deveria ser encarada com mais atenção por todos, uma vez que sua implantação é benéfica.

A NBR 10844/1989 é a norma brasileira que regulamenta as instalações prediais das águas pluviais e, de acordo com o Decreto n. 16305, da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2009, p. 4), art. 4, parágrafo 2, “O reaproveitamento das águas das chuvas, para fins de uso não potável, será exigido nas edificações industriais e comerciais que apresentarem individualmente área de cobertura ou telhado igual ou superior a 500 m² (quinhentos metros quadrados)”. Por sua vez, a NBR 15527/2007 é a norma brasileira que regulamenta as instalações prediais de aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

Nas seções seguintes deste capítulo, são abordados temas relativos ao sistema de aproveitamento de águas pluviais sendo apresentados todos os seus componentes, bem como as informações que são necessárias para o dimensionamento do mesmo.

5.1 PARTES CONSTITUINTES DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Nesta seção serão apresentados os elementos que constituem um sistema de aproveitamento de águas pluviais. Serão abordados os tipos de materiais, definições sobre cada componente entre outros aspectos relevantes para o entendimento do sistema.

O *Texas Water Development Board e Center for Maximum Potencial Building System*²⁶ (1997 apud MANO, 2004, p. 54-55):

Divide o sistema de captação e aproveitamento de água da chuva para fins domésticos em alguns componentes básicos:

- a) área de captação ou telhado: superfície sobre a qual a chuva cai;
- b) calhas e tubos de queda: canais de transporte da água do telhado até o reservatório;
- c) tela horizontal do lavador de telhado: sistemas que removem contaminantes e restos;
- d) cisterna ou reservatório: lugar onde é reservada a água coletada;
- e) tubulações: distribuem a água da chuva, do reservatório para o consumo, podendo funcionar por bombeamento ou gravidade;
- f) tratamento: equipamentos, filtros e aditivos para filtrar e desinfetar a água.

May e Hespanhol²⁷ (2006, p. 3 apud COELHO, 2007, p. 26) detalham um pouco mais os componentes:

Área de coleta: a quantidade de águas pluviais que pode ser armazenada depende da área de coleta, da precipitação atmosférica do local, do coeficiente de *Runoff*, do espaço físico disponível para a instalação de equipamentos e reservatórios e da demanda a ser atendida. A área utilizada para a coleta de águas pluviais normalmente é o telhado ou a laje da edificação. Pode-se utilizar também áreas como pátios, calçadas e estacionamentos para fazer a coleta das águas pluviais. No entanto, a coleta dessas águas deverá ser precedida de sistemas de peneiras e filtros para a retirada de lixos, papéis e plásticos encontrados nessas áreas e para a retirada de óleos e graxas provenientes de automóveis, de modo a não causar danos no sistema operacional de coleta e tratamento das águas pluviais.

Condutores: sistema de condutores horizontais (calhas) e condutores verticais que transportam as águas pluviais até o sistema de armazenamento.

Sistema de descarte da água de limpeza do telhado: para coletar as águas pluviais é necessário fazer uso de áreas impermeáveis, como por exemplo, o telhado. Como esse é um local de possibilidade de acesso de pequenos animais, tais como pássaros, ratos, gatos, entre outros, é grande a probabilidade do telhado conter fezes desses animais ou até mesmo, animais mortos. Além disso, poeira, galhos e folhas de árvores são trazidos pelo vento. Por isso, é recomendável o descarte da porção inicial da água, que faz a limpeza do(s) telhado(s), sobretudo após longo período de estiagem.

²⁶ TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD; CENTER FOR MAXIMUM POTENCIAL BUILDING SYSTEMS. **Texas Guide to Rainwater Harvesting**. 2. ed. Austin: B. Hoffman; K. Heroy; J. Hopkins, 1997.

²⁷ MAY, S.; HESPANHOL, I. Estudo de caracterização e tratamento de águas pluviais para consumo não potável em edificações. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO INTERAMERICANA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30., 2006, Punta Del Este, Uruguay. Os demais dados não foram disponibilizados pelo autor.

Armazenamento: sistema composto por reservatório(s) com objetivo de armazenar as águas pluviais. Se a área de coleta, a precipitação média da região e a demanda mensal são conhecidas, pode-se calcular o volume mínimo do reservatório de acumulação de águas pluviais. Geralmente, o reservatório de acumulação é o componente mais dispendioso do sistema e por isso seu dimensionamento requer um certo cuidado para não tornar a implantação do sistema inviável.

Tratamento: o sistema de tratamento das águas pluviais depende primordialmente da qualidade da água coletada e do seu destino final. O sistema de coleta e tratamento de águas pluviais é de fácil manuseio, custo de implantação baixo dependendo da tecnologia adotada e de qualidade econômica favorável em regiões onde a precipitação anual é relativamente elevada. As águas pluviais tratadas de maneira simples podem ser aplicadas com vantagens quando comparada com o sistema de reutilização de águas servidas, embora possua a desvantagem de, em tempos de estiagem, diminuir o volume de água coletado.

Nos próximos itens do trabalho são descritas informações e características pertinentes à compreensão do sistema de aproveitamento de águas pluviais.

5.1.1 Áreas de captação

A captação das águas pluviais pode ser realizada através de telhados ou de áreas pavimentadas no terreno. Neste trabalho será adotada somente a primeira opção. Os telhados devem ser constituídos de materiais que não liberem toxinas para água da chuva, assim como serem preferencialmente lisos, limpos e impermeáveis para contribuir para qualidade e o aumento da quantidade de água coletada. Alguns materiais como concreto e asfalto, seixo e piche conferem perdas à captação de 10% e 15% respectivamente, enquanto que as perdas são negligenciáveis no uso de metal. A estas perdas é associado um valor de coeficiente de escoamento que funciona como um índice redutor da quantidade de água coletada pelo sistema usado no cálculo do dimensionamento de reservatório (MANO, 2004, p. 55-56). A água da cobertura é a área do telhado composta por uma superfície plana, que por sua inclinação, conduz para uma mesma direção as águas das chuvas.

De acordo com Ruskin²⁸ (2001 apud MANO, 2004, p. 56) os materiais mais adequados para captação de água da chuva considerando a qualidade da água e o rendimento são:

- a) aço galvanizado corrugado;
- b) chapas de liga de alumínio;

²⁸ RUSKIN, R. H. Armazenagem de água em cisternas 1. Parte: uma velha idéia para um mundo moderno. **Água Latinoamérica**, México, DF, v. 1, n. 2, jul./ago. 2001.

- c) telhas de barro;
- d) telhas de madeira;
- e) neoprene / hypolon;
- f) fibra de vidro.

O autor salienta ainda, o uso de materiais que contenham cimento-amianto, chumbo e metais pesados deve ser totalmente descartado para a captação de águas da chuva da mesma forma para pinturas que não se conheça sua composição.

Coelho (2007, p. 27) ainda ressalta que:

[Em edificações unifamiliares,] A economia de água pode ser grande, já que a área do telhado é relativamente elevada em relação ao número de habitantes, podendo assim ser possível a obtenção de um volume maior de água da chuva. Já em condomínios verticais, [...] o custo de implantação também é baixo, porém a economia de água não é tão grande, uma vez que nessas edificações a área coberta é relativamente pequena em relação ao número de usuários. Em galpões e armazéns, após a implantação do sistema, o retorno com a economia da água é bastante significativo. Em loteamentos residenciais, industriais e aeroportos, a área do projeto requer muitas vezes a preparação de grandes obras de drenagem e/ou de retenção de águas pluviais, e parte desse custo pode ser reduzido ao se prever um sistema de retenção e utilização de água da chuva.

5.1.2 Calhas

Segundo definição da NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 2), calha é um “Canal que recolhe a água de coberturas, terraços e similares e a conduz a um ponto de destino.”. As calhas devem preferencialmente ser protegidas para que seja evitada a contaminação das águas da chuva por poluentes maiores. É recomendado, então, o uso de telas para a proteção. Há também o risco de materiais menores entrarem no canal da calha e serem conduzidos para o reservatório, em vista disso é aconselhada uma manutenção regular da área da cobertura. De acordo com o *Group Raindrops* (2002, p. 105):

Outro método é incorporar na calha um cartucho de filtro [...]. Porém, esse cartucho deve ser substituído regularmente. Também é possível instalar uma rede ou tela antes da entrada da água da chuva no tanque de armazenamento. Este método faz a remoção das folhas com maior facilidade do que quando a proteção é colocada ao redor do dreno, no telhado ou nos canais. Uma rede ou tela de 2 mm a 10 mm é satisfatória.

Para enfrentar o problema de materiais muito finos que adentram ao canal das calhas, existem várias soluções. Uma delas é o sistema *first-flush-diverters* que consistem em descartar as primeiras águas da chuva, uma vez que estas possuem maiores quantidade de poluentes (MANO, 2004, p. 58).

5.1.3 Condutores

Existem dois tipos de condutores, os verticais e os horizontais. Os condutores verticais são aqueles que levam a água da chuva da calha para os reservatórios, tanques e cisternas possuindo em alguns casos drenos ou filtros instalados em sua extensão. Conductor horizontal, por sua vez, segundo a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 2) é um “Canal ou tubulação horizontal destinado a recolher e conduzir águas pluviais até locais permitidos pelos dispositivos legais.”, ou seja, tem como função levar para fora do terreno do proprietário as águas da chuva até a rede pública. Os condutores horizontais são preferencialmente enterrados no terreno.

5.1.4 Reservatório

O *Group Raindrop* (2002, p. 110) afirma que qualquer recipiente pode ser usado como reservatório desde que:

- a) não haja nenhum vazamento;
- b) seja feito de material que não contamine a água;
- c) impeça a entrada de luz solar para que não haja a formação de algas;
- d) haja uma tampa que evite a evaporação da água e entrada de sujeiras.

Mano (2004, p. 60) reforça que “A correta escolha do lugar, do material e das dimensões do reservatório ou cisterna determina a eficiência do sistema e pode definir sua viabilidade uma vez que este componente tem uma representatividade muito grande no custo total do sistema.”. Os reservatórios podem se encontrar dispostos de três maneiras diferentes:

- a) elevados;
- b) sobre o solo;
- c) enterrados no solo.

Quando **elevados**, não necessitam de sistema de bombeamento para o abastecimento da edificação, entretanto há a necessidade de uma estrutura que os suporte, o que encarece o sistema. Os reservatórios **sobre o solo** são denominados de tanques e são mais baratos que os elevados por não necessitarem de estrutura suspensa. Existem ainda as cisternas que são **enterradas no solo** ficando com a maior parte de seu volume sob o solo. Os últimos dois sistemas necessitam de bombeamento ou de facilidade para o acesso da retirada de água (MANO, 2004, p. 61). Economicamente a cisterna é o sistema mais barato, porém existem vantagens e desvantagem entre os sistemas que devem ser levados em conta para a tomada de decisão de qual sistema utilizar.

De acordo com *The University Of Warmick*²⁹ (1999 apud MANO, 2004, p. 63), os tanques possuem como vantagens a maior facilidade para inspeções, maior variedade de opções, maior facilidade para construção e por ser possível o levantamento acima do nível do solo o abastecimento por gravidade. As cisternas, por sua vez, geralmente são mais baratas, requerem menor ou nenhum espaço acima do solo e permitem menor espessura nas paredes já que o solo funciona como apoio à estrutura. Segundo o mesmo autor ainda os tanques são normalmente mais caros, necessitam maior espaço, deterioram com maior facilidade e estão sujeitos à intempéries, enquanto que as cisternas possuem problemas na extração da água, rachaduras e vazamentos são difíceis de serem detectados, a contaminação pelas águas subterrâneas é algo comum, são afetadas pelas raízes de árvores e existe o risco de acidentes com crianças e animais que por ventura possam cair dentro delas. Os reservatórios ainda devem ser construídos com materiais que não sejam tóxicos e que não venham a comprometer a qualidade da água coletada.

5.1.5 Tratamento e filtragem

A etapa de tratamento deve ser adotada de acordo com o critério do usuário e para quais finalidades ele pretende destinar as águas da chuva, ou seja, quanto maior for o interesse pela potabilidade da água maior deverá ser o nível de eficiência do sistema de tratamento. Existem

²⁹ THE UNIVERSITY OF WARMICK. Domestic Roofwater Harvesting Research Programme. Report A1: current technology for storing domestic Rainwater (part 1). Warmick, 1999. Disponível em: <<http://www.eng.warmick.ac.uk/dtu/rwh/eudocs/a1.pdf>>. Acesso em: 5 jul. 2003. Não é possível mais o acesso ao *site*.

sistemas mais complexos que permitem a água ser consumida para todos os fins, desde não potáveis à potáveis, assim como sistemas mais simplórios. Mano (2004, p. 73) confirma a afirmação anterior dizendo ainda que “Para alcançar a potabilidade, o sistema torna-se mais complexo, exigindo uma forma de filtragem mais rigorosa, que elimine contaminantes e elementos patogênicos, de forma a que se possibilite o uso em todos os pontos de consumo da edificação.”.

Existem vários sistemas para o tratamento como usos de filtros, raios UV, reservatórios que funcionam como decantadores entre outros, cada qual com o seu nível de eficiência. Entretanto, para atender os fins não potáveis, a água coletada da chuva deve passar por um filtro para a remoção dos materiais sólidos em suspensão, sendo este o único processo necessário para atender esses usos. Existem inúmeros tipos de filtros que podem ser utilizados para o processo de filtragem. De acordo com Mano (2004, p. 71):

A 3P-Technik [...] apresenta um sistema que substitui a tela da calha, por um filtro acoplado ao tubo de queda e inclui outros elementos, como um sifão de superfície, semelhante aos usados em piscinas, e uma mangueira flutuante de sucção, para a retirada da água para abastecimento.

Este tipo de sistema apresenta uma perda de 5 à 10% da água captada do telhado, devido a necessidade de se ter uma água de lavagem da sujeira para a filtragem, sendo esta escoada direto para rede pluvial. O filtro não apresenta componentes que tratem a água até o nível de potabilidade, destinando assim a água unicamente à fins não potáveis. Outro modelo de filtro existente, proposto por Vale e Vale³⁰ (2000 apud MANO, 2004, p. 73):

[...] é o resultado da adaptação de um tanque industrial para armazenamento de suco de laranja onde é cortada a tampa superior, expondo a água à luz solar, e colocado um cano de saída d'água na extremidade inferior. O tanque é preenchido com camada de seixo rolado, brita e areia lavada, sendo tais camadas separadas por uma manta geotêxtil, principalmente para bloquear a passagem de grãos mais finos e facilitar eventuais substituições da camada de areia.

Esta primeira parte do sistema funciona com um filtro primário recebendo as águas brutas da chuva. Após passar pelo filtro primário a água segue por gravidade até o filtro secundário de areia onde, então, a água é bombeada até um reservatório em que é distribuída, criando estoques necessários para o funcionamento dos tanques do filtro secundário. A eficiência

³⁰ VALE, R., VALE, B. **The new autonomous house**. Londres, Thames & Hudson Ltd, 2000.

deste filtro garante a redução, a níveis seguros, de bactérias, ferrugem e sedimentos, cloro, químico orgânicos, além de sabor e de odores (MANO, 2004, p. 73-74).

5.2 DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Basicamente o dimensionamento dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais está relacionado com a demanda de água da edificação, os índices pluviométricos, a área de cobertura da edificação, o volume do reservatório, os condutores e as calhas. Neste capítulo serão apresentados critérios para o dimensionamento dos principais elementos do sistema.

A vazão de projeto para o dimensionamento do sistema de água pluvial segundo a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3) é:

$$Q = I.A/60 \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

Q = vazão de projeto, em L/min;

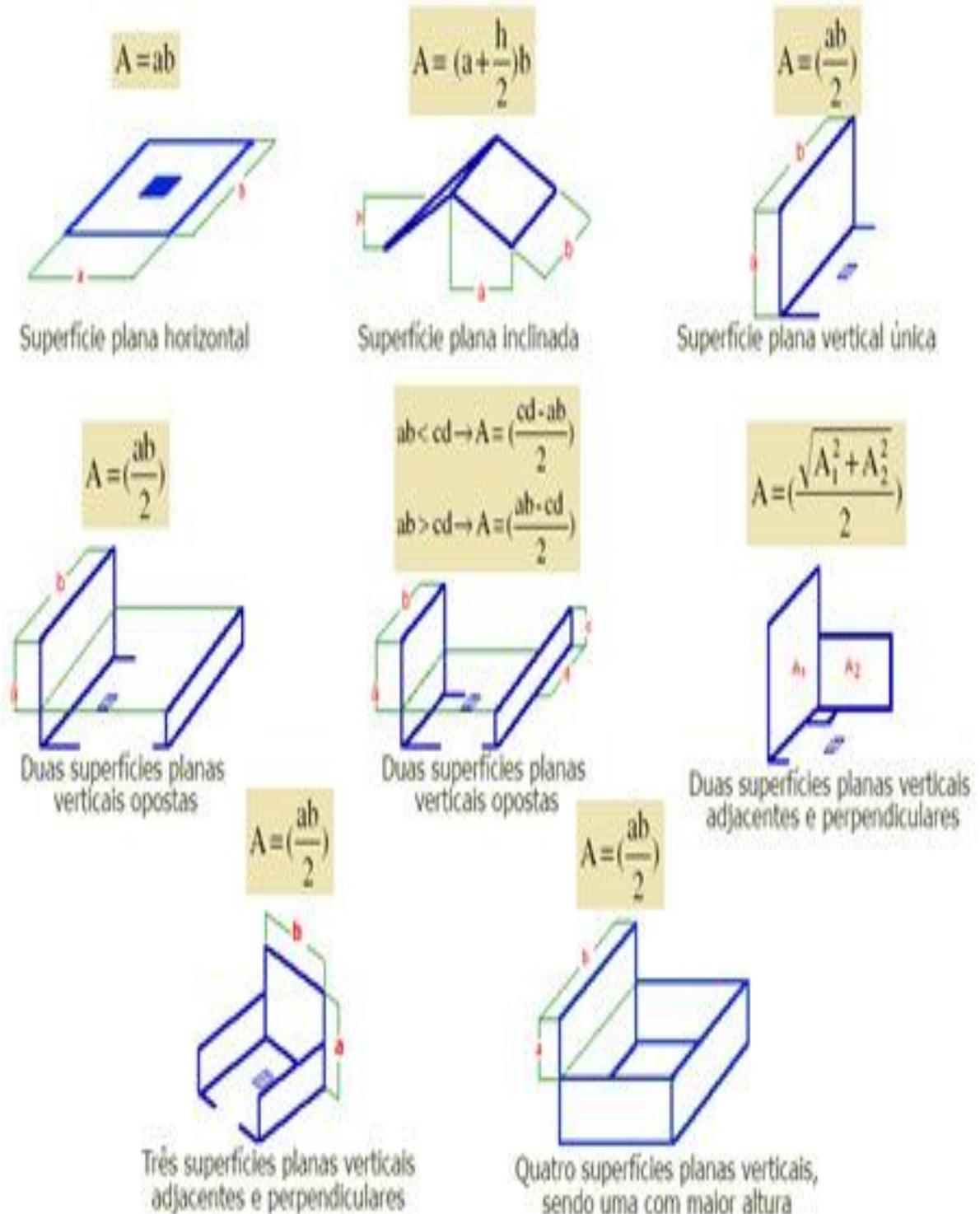
I = intensidade pluviométrica, em mm/h

A = área de contribuição, em m².

5.2.1 Área de Captação

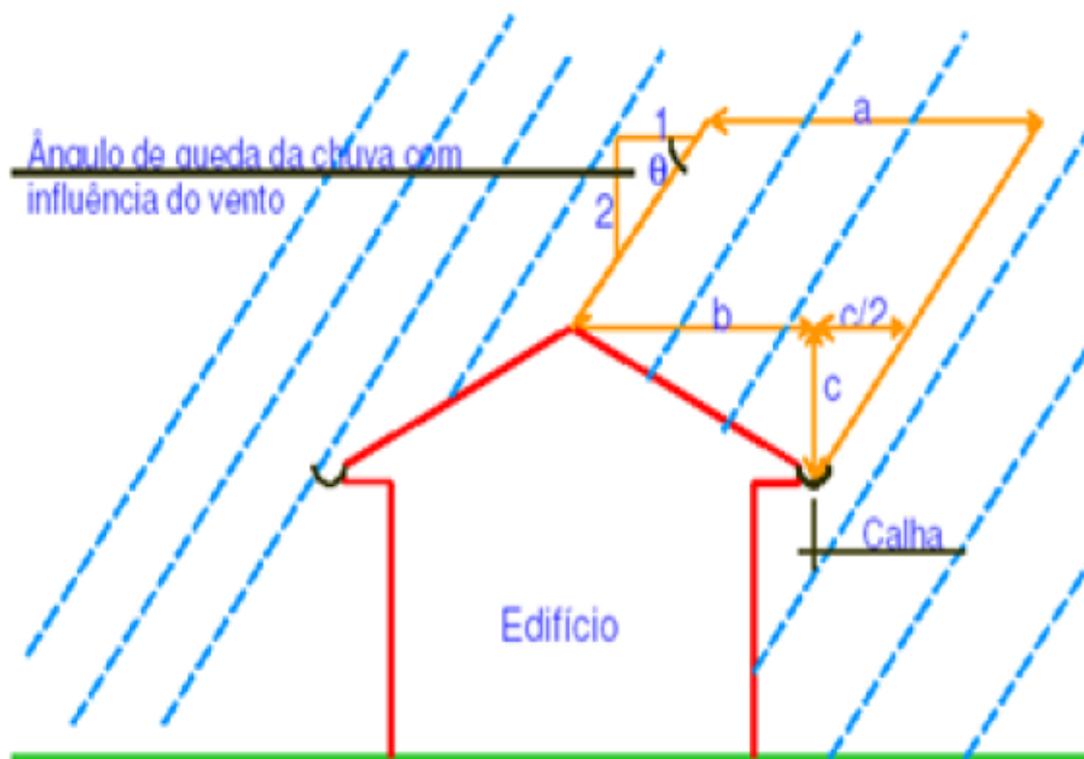
Para o início do dimensionamento do sistema de aproveitamento de água da chuva é necessário realizar o cálculo da área de contribuição da cobertura. A figura 5 demonstra como influi o diferente posicionamento do telhado para o cálculo da área e a figura 6 a influência do vento na inclinação da chuva.

Figura 5 – Área de contribuição das coberturas

(fonte: trabalho não publicado)³¹

³¹ Apostila Instalações prediais de águas pluviais da disciplina IPH 209 - Instalações Hidrossanitárias do professor Juan Martin Bravo disponível no *site* <<http://moodleinstitucional.ufrgs.br>> para alunos que cursavam a disciplina no ano de 2011 do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Figura 6 – Influência do vento na inclinação da chuva



$$a = b + \frac{c}{\operatorname{tg} \theta} \Rightarrow a = b + \frac{c}{2}$$

(fonte: trabalho não publicado)³²

O item 5.4, Coberturas Horizontais, da NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6) regulamenta alguns pontos, tais como:

- a) as superfícies horizontais de laje devem ter declividade mínima 0,5%, de modo que garanta o escoamento das águas pluviais, até os pontos de drenagem previstos;
- b) a drenagem deve ser feita por mais de uma saída, exceto nos casos em que não houver risco de obstrução;
- c) Quando necessário, a cobertura deve ser subdividida em áreas menores com caimentos de orientações diferentes, para evitar grandes percursos de água;
- d) os trechos da linha perimetral da cobertura e das eventuais aberturas na cobertura (escadas, clarabóias etc.) que possam receber água, em virtude do caimento, devem ser dotados de platibanda ou calha.

³² Apostila Instalações prediais de águas pluviais da disciplina IPH 209 - Instalações Hidrossanitárias do professor Juan Martin Bravo disponível no *site* <<http://moodleinstitucional.ufrgs.br>> para alunos que cursavam a disciplina no ano de 2011 do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

5.2.2 Calhas

A norma regulamentadora do dimensionamento das calhas é a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6) que indica alguns itens a serem seguidos:

- a) as calhas de beiral e platibanda devem, sempre que possível, ser fixadas centralmente sob a extremidade da cobertura e o mais próximo desta;
- b) a inclinação das calhas de beiral e platibanda deve ser uniforme, com valor mínimo de 0,5%;
- c) as calhas de água-furtada têm inclinação de acordo com o projeto da cobertura;
- d) quando a saída não estiver colocada em uma das extremidades, a vazão de projeto para o dimensionamento das calhas de beiral ou platibanda deve ser aquela correspondente à maior das áreas de contribuição;
- e) quando não se pode tolerar nenhum transbordamento ao longo da calha, extravasores podem ser previstos como medida adicional de segurança. Nestes casos, eles devem descarregar em locais adequados;
- f) em calhas de beiral ou platibanda, quando a saída estiver a menos de 4 m de uma mudança de direção, a vazão de projeto deve ser multiplicada pelos coeficientes da [...] [tabela 2];
- g) o dimensionamento das calhas deve ser feito através da fórmula [2] de Manning-Strickler, [...].

A fórmula indicada é, adaptada para o trabalho:

$$Vaz = K.(A_m/n).R_H^{2/3}.i^{1/2} \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

[...] [Vaz] = Vazão de projeto, em L/min;

[...] [A_m] = área de seção molhada, em m²;

n = coeficiente de rugosidade [...] [Ver tabela 3];

R = raio hidráulico, em m;

PH = P/S perímetro molhado, em m;

I = declividade da calha, em m/m;

K = 60000.

A tabela 4 auxilia no dimensionamento das calhas fornecendo as capacidades que as calhas semicirculares suportam com coeficiente de rugosidade de 0,011.

Tabela 2 – Coeficientes multiplicativos da vazão de projeto

Tipo de curva	Curva a menos de 2 m da saída da calha	Curva entre 2 e 4 m da saída da calha
canto reto	1,2	1,1
canto arredondado	1,1	1,05

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6)

Tabela 3 – Coeficientes de rugosidade

Material	n
plástico, fibrocimento, aço, metais não ferrosos	0,011
ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
cerâmica, concreto não-alisado	0,013
alvenaria de tijolos não-revestida	0,015

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6)

Tabela 4 – Capacidade de calhas semicirculares com coeficientes de rugosidade $n = 0,011$ (Vazão em L/min)

Diâmetro interno (mm)	Declividades		
	0,50%	1%	2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1167	1634

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6)

5.2.3 Condutores

Os condutores verticais de acordo com a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989 p. 7) devem seguir alguns requisitos:

- a) os condutores verticais devem ser projetados, sempre que possível, em uma só prumada. Quando houver necessidade de desvio, devem ser usadas curvas de 90° de raio longo ou curvas de 45° e devem ser previstas peças de inspeção;
- b) os condutores verticais podem ser colocados externa e internamente ao edifício, dependendo de considerações de projeto, do uso e da ocupação do edifício e do material dos condutores;
- c) o diâmetro interno mínimo dos condutores verticais de seção circular é 70 mm;
- d) o dimensionamento dos condutores verticais deve ser feito a partir dos seguintes dados:

Q = Vazão de projeto, em L/min

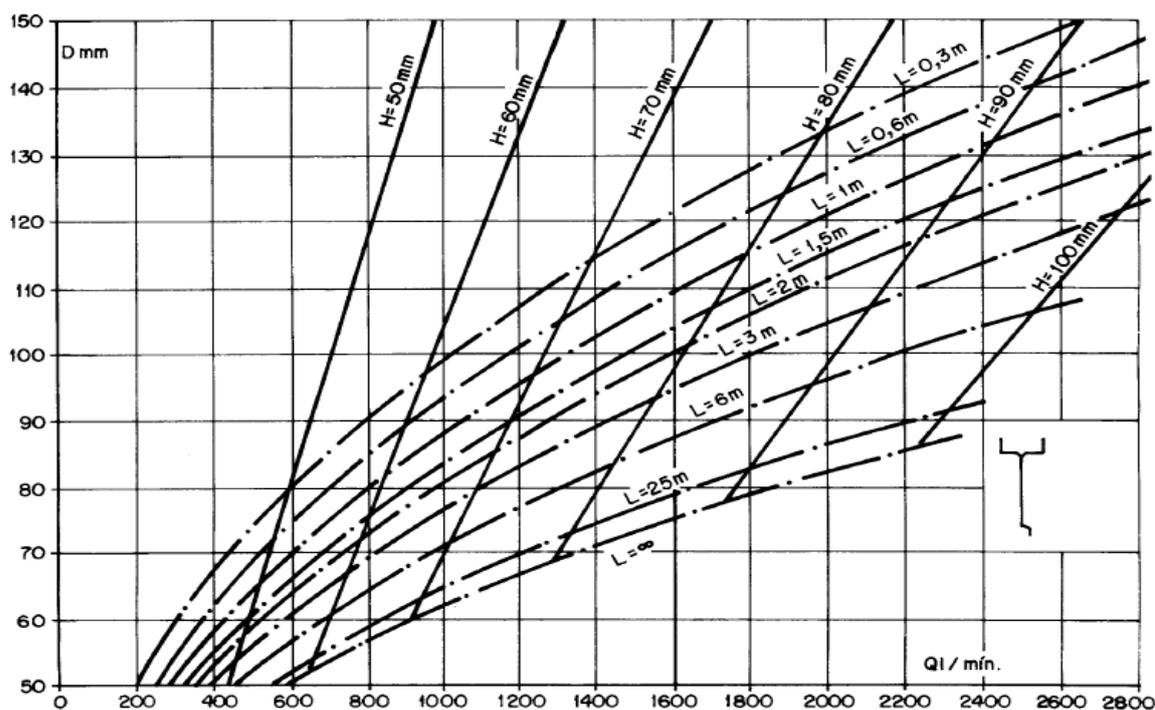
H = altura da lâmina de água na calha, em mm

L = comprimento do condutor vertical em m

- e) para calhas com saída em aresta viva ou com funil de saída, deve-se utilizar, respectivamente, [...] [a figura 7 e figura 8];
- f) [...] [as figuras] foram [...] [construídas], para condutores verticais rugosos (coeficiente de atrito $f = 0,04$) com dois desvios na base.

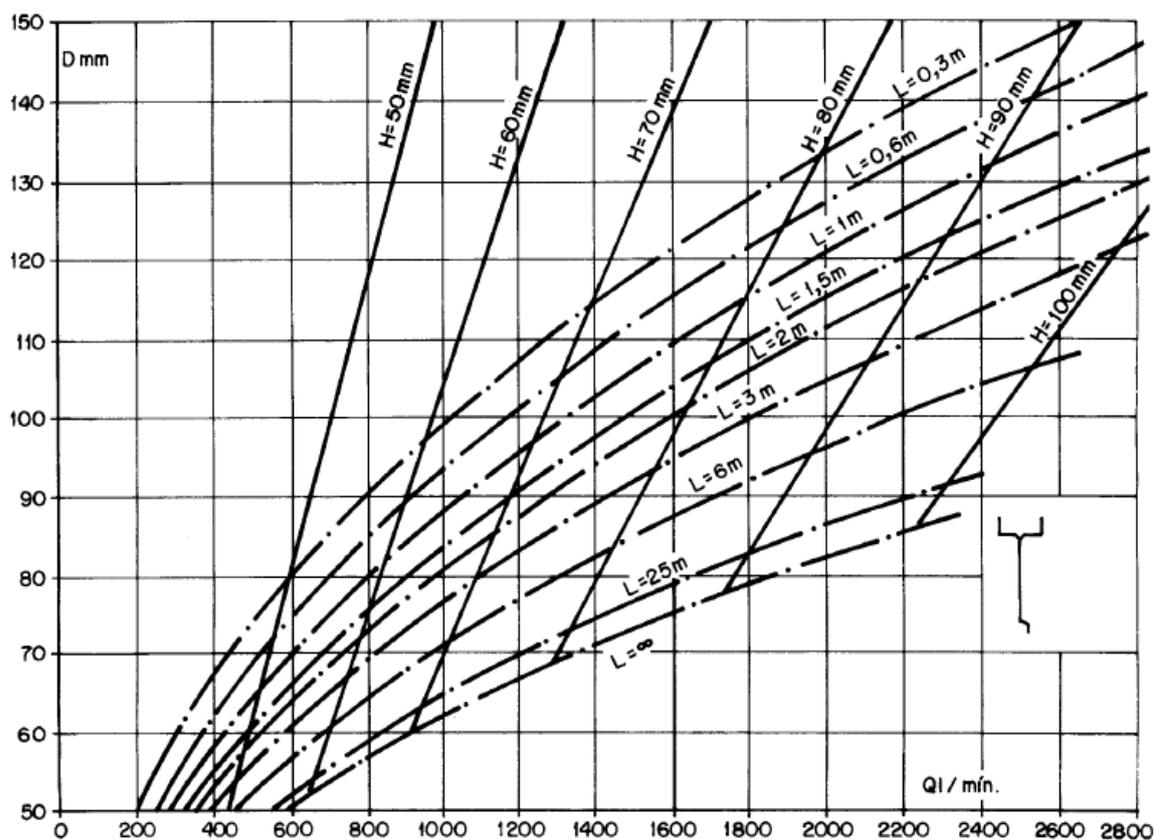
A seguir a figura 7 apresenta o ábaco para o dimensionamento da calha com saída em aresta viva e a figura 8 para a calha com saída em funil.

Figura 7 – Calha com saída em aresta viva



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 8)

Figura 8 – Calha com saída em funil



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 8)

Os condutores horizontais são regidos pela NBR10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 7) citada anteriormente onde são destacados que:

- a) os condutores horizontais devem ser projetados, sempre que possível, com declividade uniforme, com valor mínimo de 0,5%;
- b) o dimensionamento dos condutores horizontais de seção circular deve ser feito para escoamento com lâmina de altura igual a $\frac{2}{3}$ do diâmetro interno (D) do tubo. As vazões para tubos de vários materiais e inclinações usuais estão indicados na [...] [tabela 5];
- c) nas tubulações aparentes, devem ser previstas inspeções sempre que houver conexões com outra tubulação, mudança de declividade, mudança de direção e ainda a cada trecho de 20 m nos percursos retilíneos;
- d) nas tubulações enterradas, devem ser previstas caixas de areia sempre que houver conexões com outra tubulação, mudança de declividade, mudança de direção e ainda a cada trecho de 20 m nos percursos retilíneos;
- e) a ligação entre os condutores verticais e horizontais é sempre feita por curva de raio longo, com inspeção ou caixa de areia, estando o condutor horizontal aparente ou enterrado.

A tabela 5 fornece os dados para o dimensionamento da capacidade dos condutores horizontais de seção circular.

Tabela 5 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazão em L/min.)

Diâmetro Interno (D) (mm)	n = 0,011				n = 0,012				n = 0,013			
	0,50%	1%	2%	3%	0,50%	1%	2%	3%	0,50%	1%	2%	3%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
125	370	521	735	1040	339	478	674	956	313	441	622	882
150	602	847	1190	1690	552	777	1100	1550	509	717	1010	1430
200	1300	1820	2570	3650	1190	1670	2360	3350	1100	1540	2180	3040
250	2350	3310	4660	6620	2150	3030	4280	6070	1990	2800	3950	5600
300	3820	5380	7590	10800	3500	4930	6960	9870	3230	4550	6420	9110

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 9)

5.2.4 Reservatórios

A norma que regulamenta os reservatórios de aproveitamento de águas pluviais é a NBR 15527. Essa Norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 3) indica que:

- a) devem ser considerados no projeto: extravasor, dispositivos de esgotamento, cobertura, inspeção, ventilação e segurança;
- b) o volume de água da chuva aproveitável depende do coeficiente de escoamento superficial da cobertura, bem como da eficiência do sistema de descarte do escoamento inicial, sendo calculado pela seguinte equação [3] [...];
- c) o volume não aproveitável da água de chuva pode ser lançado na rede de galerias de águas pluviais, na via pública ou ser infiltrado total ou parcialmente, desde que não haja perigo de contaminação do lençol freático, a critério da autoridade local competente;
- d) o esgotamento pode ser feito por gravidade ou por bombeamento.

O volume de água da chuva aproveitável corresponde então a:

$$V = P.A.C.\eta_{\text{fator de captação}} \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

V = volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável;

P = precipitação média anual, mensal ou diária;

A = área de coleta;

C = coeficiente de escoamento superficial da cobertura;

$\eta_{\text{fator de captação}}$ = eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e o desvio de escoamento inicial, caso este último seja utilizado.

De acordo com o Anexo A da NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) existem seis métodos para o cálculo do volume coletado diário, sendo os dois primeiros baseados na utilização de séries históricas de precipitação e os restantes de caráter empírico:

- a) método de Rippl;
- b) método da Simulação;
- c) método de Azevedo Neto;
- d) método prático alemão;
- e) método prático inglês;
- f) método prático australiano.

Neste trabalho foi adotado o método da Simulação uma vez que se apresenta como o mais conveniente para o nível de informação existente na região em estudo e com o qual se obtém valores do volume do reservatório mais precisos. O cálculo do volume coletado diário, utilizando dito método e adaptado para as condições deste trabalho consiste em:

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (\text{fórmula 4})$$

$$Q_{(t)} = C.I_{(t)}.A.(1-p) \quad (\text{fórmula 5})$$

Sendo que: $0 \leq S_{(t)} \leq V$

Onde:

$S_{(t)}$ = volume de água no reservatório no tempo t, em m³;

$S_{(t-1)}$ = volume de água no reservatório no tempo t -1, em m³;

$Q_{(t)}$ = volume de chuva captado no tempo t, em m³;

$D_{(t)}$ = consumo ou demanda no tempo t, em m³;

$V_{(t)}$ = volume máximo do reservatório, em m³;

C = coeficiente de escoamento superficial;

$I_{(t)}$ = precipitação no tempo t, em m;

A = área de captação, em m²;

p = perdas na captação, em %.

5.2.5 Demandas

A norma brasileira que regulamenta os valores do consumo de água dos aparelhos é a NBR 5626. A tabela 6 indica valores de vazão dos aparelhos apresentados nessa Norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 18-19).

Tabela 6 – Vazão nos pontos de utilização em função do aparelho sanitário e da peça de utilização (NBR 5626/1998)

aparelho sanitário		peça de utilização	vazão de projeto L/s
bacia sanitária		caixa de descarga	0,15
		válvula de descarga	1,70
banheira		misturador (água fria)	0,30
bebedouro		registro de pressão	0,10
bidê		misturador (água fria)	0,10
chuveiro ou ducha		misturador (água fria)	0,20
chuveiro elétrico		registro de pressão	0,10
lavadora de pratos ou de roupas		registro de pressão	0,30
lavatório		torneira ou misturador (água fria)	0,15
mictório cerâmico	com sifão integrado	válvula de descarga	0,50
	sem sifão integrado	caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15
mictório tipo calha		caixa de descarga ou registro de pressão	0,15 por metro de calha
pia		torneira ou misturador (água fria)	0,25
		torneira elétrica	0,10
tanque		torneira	0,25
torneira de jardim ou lavagem em geral		torneira	0,20

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 18-19)

5.2.6 Perdas na captação

Geralmente são usados percentuais que minoram o volume de chuva precipitado com a finalidade de representar o volume real captado. A água da chuva não é coletada em sua totalidade uma vez que uma parcela do seu volume é perdida através do processo de filtragem, da evaporação ou pela superfície adotada para a captação.

Para representar essa parcela efetivamente captada é usado um fator de captação apresentado na fórmula 3 na seção 5.2.4. Esta fórmula é utilizada para o cálculo do volume precipitado, onde o valor percentual do fator de captação resulta da subtração do percentual considerado na perda na captação de um total de 100%, ou seja, é obtido descontando o percentual de perda. Os percentuais mais utilizados para perda na captação apresentam valores típicos na faixa de 10 à 20%.

6 LEVANTAMENTO DE DADOS, CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS E DESENVOLVIMENTO DO MODELO

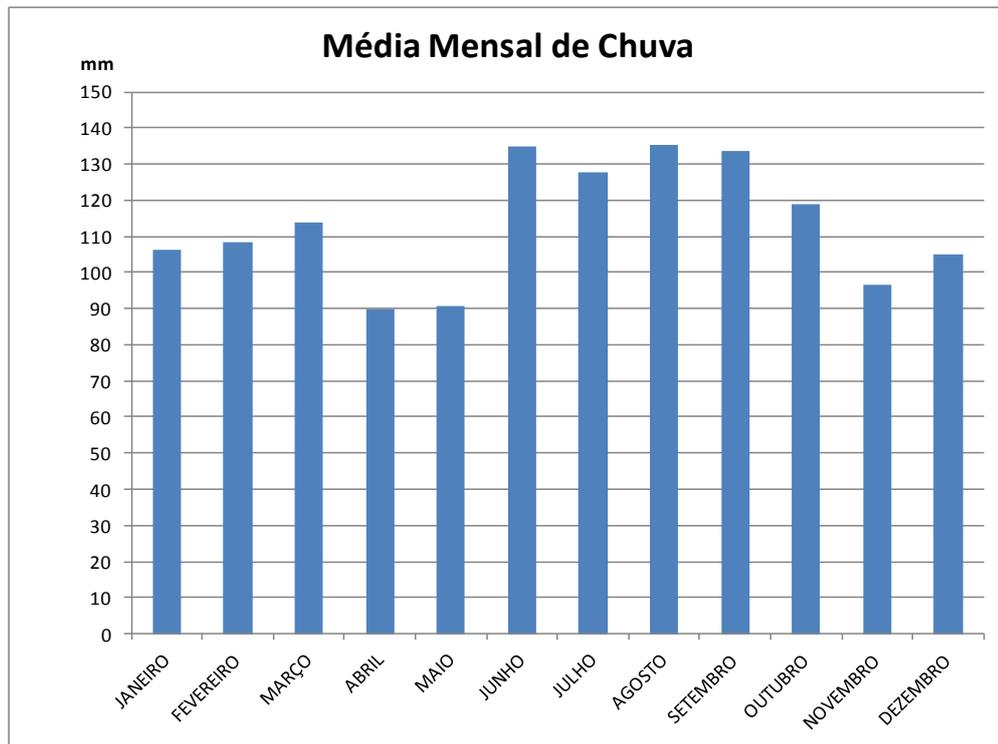
Nos capítulos anteriores foram discorridos temas e conceitos básicos relevantes à compreensão de um sistema de aproveitamento de águas pluviais. Neste capítulo são apresentadas informações sobre a série histórica diária de chuva utilizada, bem como a definição das variáveis usadas e o desenvolvimento do modelo empregado neste trabalho.

6.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DA SÉRIE DIÁRIA DE CHUVA

O modelo criado neste trabalho utiliza como principal informação de entrada os dados de uma série histórica diária de chuva de 38 anos (1961 à 1998), obtidos no posto pluviométrico Porto Alegre código Hidroweb ANA 03051011, localizado na cidade de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul. Para a maior precisão e confiabilidade nos resultados deste trabalho foram excluídos da análise 167 dias, uma vez que nestes dias não houve leitura e conseqüente relato da precipitação. Portanto dos 13880 dias referentes aos 38 anos da série de chuva, foi desconsiderado um percentual de 1,2% de dias.

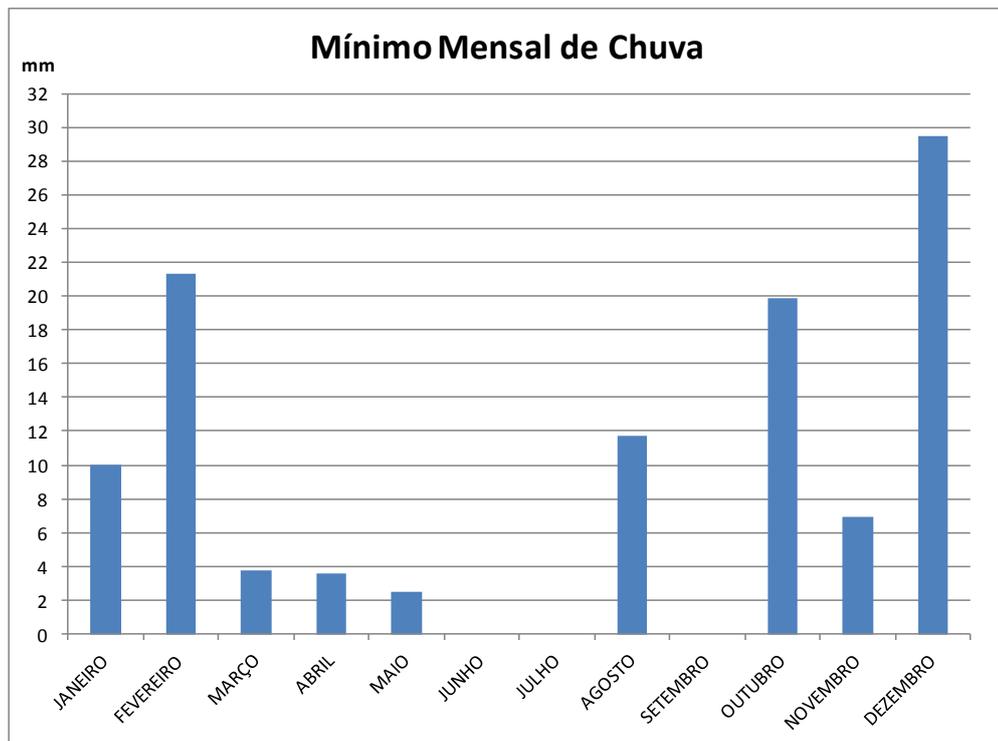
Com o intuito de caracterizar a série de chuva utilizada no desenvolvimento deste trabalho, a figura 9 apresenta valores das médias dos totais mensais de precipitação durante os anos de 1961 à 1998. Por sua vez, as figuras 10 e 11 apresentam os valores mínimos e máximos dos totais mensais de precipitação, em cada mês do ano, respectivamente.

Figura 9 – Valores médios de precipitação total mensal em cada mês do ano



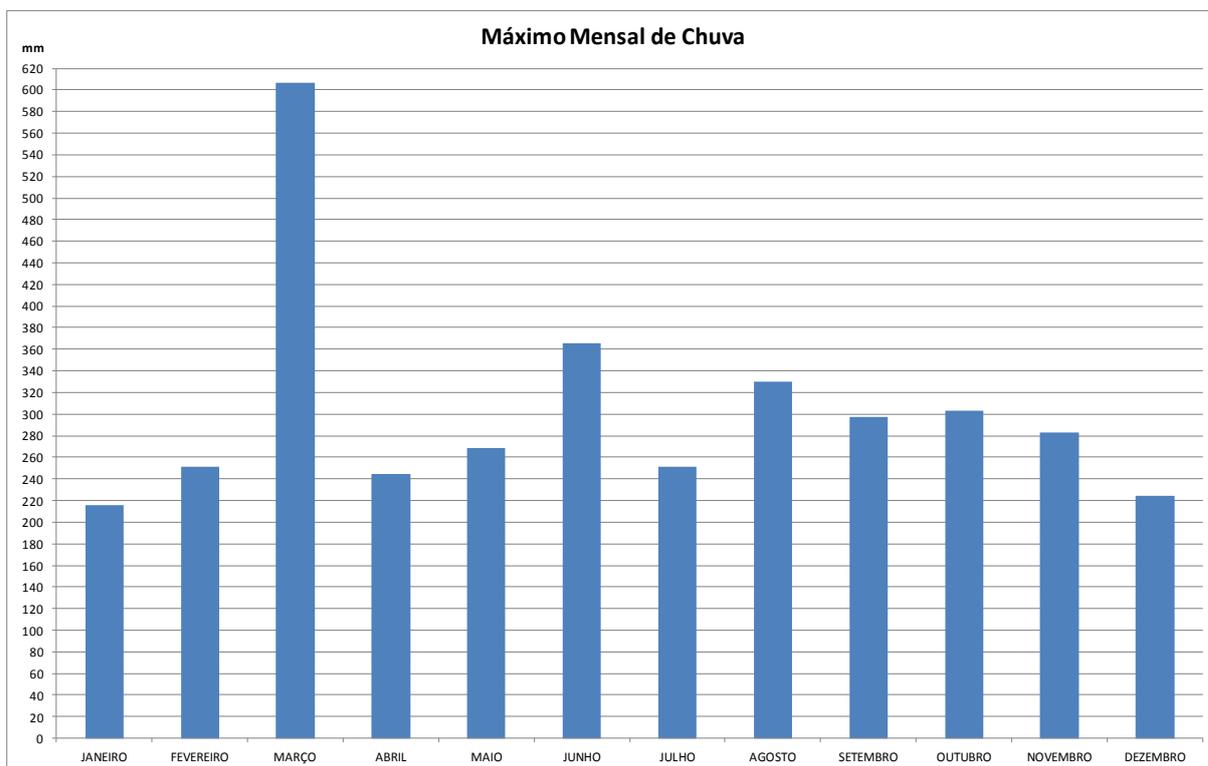
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 10 – Valores mínimos de precipitação total mensal em cada mês do ano



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 11 – Valores máximos de precipitação total mensal em cada mês do ano



(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 7 resume as informações contidas nas figuras 9 a 11 apresentando os valores médios, mínimos e máximos mensais de chuva medidos em milímetros durante os 38 anos da série.

Tabela 7 – Valores médios, mínimos e máximos dos totais mensais de chuva (em mm)

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Média	106,11	108,38	113,64	90,03	90,65	134,8	127,8	135,2	133,74	118,81	96,59	105,15
Mínimo	10	21,3	3,8	3,6	2,5	0	0	11,7	0	19,9	6,9	29,5
Máximo	215,4	251	606,4	244,1	268,6	365,5	251,4	330	297,8	303,4	283,4	224,2

(fonte: elaborado pelo autor)

Outro dado importante para a caracterização da série utilizada no trabalho é a quantidade de dias consecutivos sem chuva. A tabela 8 indica a média, o máximo e o mínimo de dias consecutivos sem chuva observados na série histórica.

Tabela 8 – Média, mínimo e máximo de dias consecutivos sem chuva (em dias)

Média	Máximo	Mínimo
3,8	31	1

(fonte: elaborado pelo autor)

6.2 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Nesta seção serão apresentadas e caracterizadas as variáveis que foram avaliadas com a aplicação do modelo de balanço hídrico. As variáveis são:

- a) área de captação;
- b) volume de reservatório;
- c) perda de captação;
- d) demanda de consumo;
- e) percentual de falha no atendimento da demanda.

A área de captação é a área da edificação utilizada para a captação da água de chuva. Para este trabalho foram consideradas as seguintes áreas, em metros quadrados:

- a) 50;
- b) 100;
- c) 150;
- d) 200;
- e) 250;
- f) 300;
- g) 500.

Adotou-se uma variação de 50 m² das áreas de captação até 300 m² para que fosse possível interpolar áreas entre esses valores sem que ocorressem grandes imprecisões no resultado. Os limites de 50 m² e 300 m² foram escolhidos uma vez que representam de forma coerente os telhados das edificações da cidade de Porto Alegre. Áreas inferiores à 50 m² são pequenas demais para captar um volume de água de chuva adequado ao uso em uma edificação. Considerou-se importante ainda considerar o valor de 500 m² na análise deste trabalho, pois

este é o primeiro valor em que se é exigido, em Porto Alegre, que edificações industriais e comerciais reaproveitem a água da chuva para fins não potáveis.

Os volumes de reservatórios utilizados neste trabalho foram obtidos através de pesquisa com fabricantes de reservatórios, afim de que os volumes usados no trabalho representassem a realidade do mercado. Os volumes adotados para o trabalho foram, em litros:

- | | |
|----------|-----------|
| a) 250; | i) 3000; |
| b) 310; | j) 4000; |
| c) 500; | k) 5000; |
| d) 750; | l) 6000; |
| e) 1000; | m) 10000; |
| f) 1500; | n) 15000; |
| g) 2000; | o) 20000. |
| h) 2500; | |

O menor volume de reservatório encontrado à venda com frequência pelos fabricantes foi o de 250 litros, que abastece de forma eficaz pequenas residências. Por outro lado, o maior volume foi o de 20000 litros que abasteceria uma residência familiar com folga. Um valor tão elevado de reservatório como o de 20000 litros foi inserido no contexto, uma vez que este trabalho não se limita a um tipo específico de edificação, visando abranger o maior número possível de casos de aproveitamento da água da chuva. Mesmo sendo inviável um reservatório desta magnitude em uma residência familiar, tal reservatório poderia ser muito útil para outros fins, como por exemplo, à agricultura, onde se tem períodos de seca e necessita-se de grandes volumes de água para atender a demanda, ou até mesmo para o atendimento das necessidades não potáveis de uma escola.

Para uma maior confiabilidade nos resultados gerados foram adotados nos cálculos os valores de 10 e 20% para as perdas na captação, o que estaria coerente, uma vez que o valor mais frequentemente adotado é da ordem de 15%. Desta maneira abrange-se de forma confiável o valor usualmente utilizado e permite-se uma interpolação precisa de algum outro coeficiente para a perda.

Outra variável considerada foi a demanda de consumo da edificação. Os valores adotados variaram de 10 à 20000 L/d. A variação adotada foi grande já que procurou-se abranger os mais variados interesses de utilização da água da chuva captada, desde um uso mais simples,

como por exemplo, para bacias sanitárias até para irrigação de pequenas áreas como na agricultura. A variação de valores para as demandas foi crescendo gradativamente para que o resultado final da curva fosse satisfatório e claro. De acordo com essa necessidade foram utilizados os seguintes valores de demanda, em litros por dia:

a) 10;	l) 1000;
b) 20;	m) 1500;
c) 50;	n) 2000;
d) 75;	o) 2500;
e) 100;	p) 3000;
f) 150;	q) 4000;
g) 200;	r) 5000;
h) 250;	s) 6000;
i) 310;	t) 10000;
j) 500;	u) 15000;
k) 750;	v) 20000.

Casos onde a demanda era maior que o volume do reservatório, a demanda máxima utilizada para cálculo foi o valor do volume do reservatório. Os valores de demanda foram considerados constantes ao longo de cada intervalo de tempo de simulação.

A última variável analisada foi o percentual de falha, que corresponde ao número de vezes em que o sistema de aproveitamento de água da chuva não supre a demanda da edificação. Com o conhecimento do valor desta variável é possível o usuário utilizar a ferramenta que será desenvolvida na próxima seção e prever o quão eficiente será o seu sistema de aproveitamento de água da chuva.

6.3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Após serem definidas e caracterizadas as variáveis relevantes para o trabalho, iniciou-se a etapa de desenvolvimento do modelo. Nesta seção são apresentadas as etapas de desenvolvimento do modelo a partir do qual foram simulados os diferentes cenários e obtidos os resultados que possibilitaram a criação dos gráficos e tabelas finais deste trabalho, que constituem as ferramentas disponibilizadas para o projetista na sua tomada de decisão.

Foi usado o modelo de balanço hídrico com intervalo de tempo diário. A figura 12 apresenta uma parte da planilha *Excel* que representa o modelo utilizado. A planilha foi criada com a finalidade de que fossem inseridos valores para as variáveis perda (Coluna 9), área de captação (Coluna 10), volume do reservatório (Coluna 11) e demanda (Coluna 12), destacadas na figura 12 pela cor vermelha em negrito, e ao final o valor da falha no atendimento da demanda (Coluna 13) fosse obtido. Os valores apresentados na figura 12 são meramente ilustrativos para a compreensão do processo pelo leitor. As unidades utilizadas para cada variável são:

- a) perda em % percentual (por exemplo, para 10% de perdas introduzir o valor de 0,1);
- b) área de captação em m^2 ;
- c) volume de reservatório em litros, o modelo faz a conversão automática para m^3 ;
- d) demanda em litros/dia, o modelo faz a conversão automática para m^3 /dia;
- e) falha no atendimento da demanda em %.

Cada coluna da tabela foi responsável por fornecer um dado:

- a) coluna 1: foi inserida a data completa de leitura da precipitação;
- b) coluna 2: responsável por indicar o valor precipitado no dia da leitura segundo dados da Agência Nacional da Água (ANA);
- c) coluna 3: neste trabalho foi considerado que precipitações diárias inferiores ou iguais à 0,2 mm seriam descartadas, por terem pequeníssima representatividade para o acúmulo de água de chuva no reservatório e porque poderiam não gerar escoamento representativo. Portanto, a coluna 3 identificava o valor da coluna 2 e, caso fosse inferior ou igual à 0,2 mm o descartava e registrava o valor zero, caso contrário mantinha o valor da coluna 2;
- d) coluna 4: indica o volume de água da chuva coletado no dia, foi utilizada a fórmula 5 para o cálculo. Como a unidade de volume adotada foi a de m^3 , fez-se uma conversão do valor obtido na coluna 3, que estava em milímetros para metros, automaticamente com o uso de fórmulas no programa *Excel*. Os valores das outras duas variáveis utilizadas na fórmula 5 eram obtidas das Colunas 9 e 10. O valor do coeficiente de escoamento foi considerado igual a 1 e do volume captado é descontado uma percentagem como perdas;
- e) coluna 5: representa o volume resultante do uso, ou seja, é a aplicação direta da fórmula 4. A demanda é fixada pela Coluna 12, o volume do reservatório do dia anterior é obtido através da Coluna 7 e o volume de chuva precipitado através da Coluna 4. É importante lembrar que para o primeiro valor da série o volume do reservatório no dia anterior é considerado cheio;

Figura 12 – Tabela modelo

COLUNA 1	COLUNA 2	COLUNA 3	COLUNA 4	COLUNA 5	COLUNA 6	COLUNA 7	COLUNA 8	COLUNA 9	COLUNA 10	COLUNA 11	COLUNA 12	COLUNA 13
Data	Precipitação Coletado (mm)	Precipitação Verificação (mm)	Volume Coletado no Dia (m³)	Volume Resultante do Uso (m³)	Volume Resultante Verificado (m³)	Volume Resultante Total (m³)	Falha (%)	C (Perda)	Área de Captação (m²)	Volume (Reservatório) (m³)	Demanda (l/d) (m³/d)	Falha (%)
01/01/1961	0,4	0,4	0,108	16,108	16,108	16,108	0	0,1	300	20000	4000	84,06621
02/01/1961	0	0	0	12,108	12,108	12,108	0			20	4	
03/01/1961	0,2	0	0	8,108	8,108	8,108	0					
04/01/1961	2,4	2,4	0,648	4,756	4,756	4,756	0					
05/01/1961	0	0	0	0,756	0,756	0,756	0					
06/01/1961	3,8	3,8	1,026	-2,218	0	0	1					
07/01/1961	1,6	1,6	0,432	-3,568	0	0	1					
08/01/1961	0	0	0	-4	0	0	1					
09/01/1961	0	0	0		0	0	1					
10/01/1961	26,9	26,9	7,263		3,263	3,263	0					
11/01/1961	9,7	9,7	2,619		1,882	1,882	0					
12/01/1961	0	0	0	-2,1	0	0	1					
...												
26/12/1998	0	0	0	-4		0	1					
27/12/1998	0	0	0	-4		0	1					
28/12/1998	0	0	0	-4		0	1					
29/12/1998	23,3	23,3	6,291	2,291	2,291	2,291	0					
30/12/1998	0,3	0,3	0,081	-1,628	0	0	1					
31/12/1998	0	0	0	-4	0	0	1					
												11528

Cálculos auxiliares

(fonte: elaborado pelo autor)

- f) coluna 6: faz uma verificação do volume resultante da Coluna 5 com a finalidade de indicar valores sempre positivos ou zero. Nesta coluna foi inserido um condicional para que, caso o volume da coluna 5 fosse negativo, condição fisicamente impossível de se ter, servindo apenas para indicar que a demanda de consumo foi superior ao que o reservatório possuía, a coluna 6 indicasse o valor zero, representando desta forma que não houve acúmulo de água da chuva no dia. Por outro lado caso o valor fosse positivo na Coluna 5 ele se manteria na Coluna 6;
- g) coluna 7: tem por finalidade garantir e representar a realidade fornecendo o volume resultante total. Garante que o volume apresentado na Coluna 6 não seja superior ao volume do reservatório adotado para análise. Foi inserido um condicional nesta coluna com objetivo de, caso o valor da Coluna 6 fosse superior ao do reservatório manteria-se o valor indicado na Coluna 11, o que indicaria o extravasamento para a rede de drenagem pluvial. Por outro lado se o valor fosse inferior ao da Coluna 11 utilizaria-se o valor da Coluna 6;
- h) coluna 8: verifica se no dia de análise houve falha de atendimento à demanda ou não. Mais uma vez foi inserido um condicional para o caso de o valor apresentado na Coluna 7 fosse diferente de zero o número indicado na célula correspondente da Coluna 8 fosse zero, o que representaria que não houve falha. Entretanto se o valor da célula da Coluna 7 fosse zero a célula da Coluna 8 seria contemplada com o número 1 o que representaria uma falha ao atendimento da demanda naquele dia. Ao final da Coluna 8 foi feito um somatório, o qual representa o total de dias em que houve falha ao atendimento da demanda ao longo do período total da simulação;
- i) coluna 9: deve ser preenchida com o valor da perda na captação de acordo com os dispositivos de filtragem adotados e critérios do projetista;
- j) coluna 10: deve ser inserido o valor da área de captação do prédio para qual se faz o estudo;
- k) coluna 11: deve ser colocado o valor do volume de reservatório que se deseja utilizar;
- l) coluna 12: deve ser informado o valor da demanda de consumo;
- m) coluna 13: indica o percentual de falha, baseado nos dados fornecidos para as 4 variáveis. O resultado é obtido pela divisão do total de dias em que houve falha ao atendimento da demanda (valor da última célula da Coluna 8, Falha), destacado na figura 12 em negrito, com a célula pintada de amarelo, pelo número de dias da série. Esse quociente é multiplicado por 100, para que o resultado seja expresso em porcentagem. O total de dias deste trabalho foi de 13713 dias.

O modelo foi aplicado considerando dois valores para perda na captação, sete valores para área de captação, quinze valores de volume de reservatório e 21 demandas de consumo. Desconsiderando os valores nos quais a demanda era maior que o volume do reservatório, as demandas de 1500, 2000, 3000 e 4000 L/d para os reservatórios de 10000, 15000 e 20000 litros para áreas de 50 m² e a demanda de 6000 L/d para os reservatórios de 10000, 15000 e

20000 litros para todas as áreas o modelo desenvolvido foi utilizado em 3084 combinações entre as variáveis.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresentará a aplicação do modelo desenvolvido anteriormente apresentando os resultados na forma de tabelas e gráficos. O capítulo será dividido em três seções que demonstram o gráfico e a tabela que serão usados como ferramenta de tomada de decisão pelo projetista, informações que podem ser concluídas a partir do uso do gráfico e por fim, situações de uso da ferramenta.

7.1 FERRAMENTAS PARA TOMADAS DE DECISÃO

Após a aplicação do modelo foi possível obter valores para a criação dos gráficos. São apresentadas nesta seção as ferramentas para tomadas de decisões, gráficos e tabelas auxiliares, geradas a partir dos resultados da aplicação do modelo.

Para uma melhor compreensão dos dados representados no gráfico, foi criada uma tabela auxiliar na qual foram explicitados os valores de cada ponto da curva com a finalidade de que o usuário pudesse saber o valor preciso em determinada situação. A figura 13 é um exemplo da tabela auxiliar produzida. Neste caso foi adotado um coeficiente de perda de 0,1(10%) e uma área de captação de 50 m². Fixadas essas duas variáveis foram feitas simulações para diferentes volume de reservatório, demanda de consumo, utilizando os valores apresentados na seção 6.2, e obtido o percentual de falha de atendimento à demanda, lembrando sempre que o percentual de falha é a única variável a ser preenchida nessa tabela auxiliar, uma vez que é fruto do resultado da aplicação do modelo. Para facilitar a identificação e uso da tabela foi criada a nomenclatura TAxCx dentro do trabalho. Ela funciona da seguinte forma: utilizando-se, por exemplo, uma área de 50 m² com perda na captação de 0,1 a nomenclatura da tabela seria então TA50C01, sendo que o T indica que é uma tabela, o A demonstra qual a área de captação utilizada e o C qual a perda adotada. Em geral a nomenclatura obedece ao formato TAxCx onde o “x” é substituído pelos valores da área de captação e perda na captação desejáveis, conforme explicado anteriormente. As demais tabelas são encontradas nos apêndices A à N.

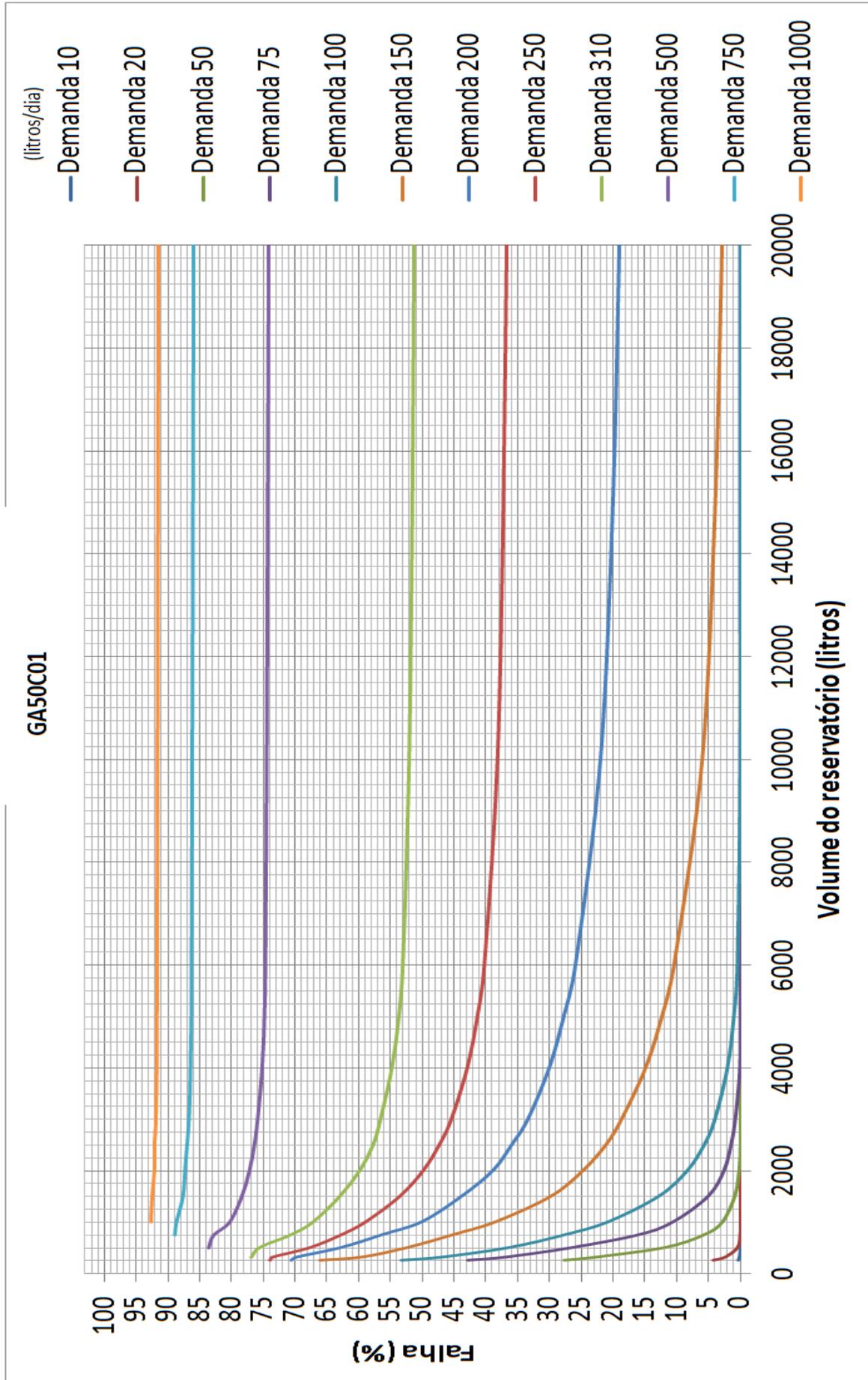
Figura 13 – Tabela auxiliar TA50C01

				C=0,1										
ÁREA 50	VOLUME 250	DEMANDA	FALHA	VOLUME 310	DEMANDA	FALHA	VOLUME 500	DEMANDA	FALHA	VOLUME 750	DEMANDA	FALHA		
		10	0,36462		10	0,1896		10	0		10	0		
		20	4,28061		20	2,42106		20	0,4813		20	0,08022		
		50	27,7109		50	22,6646		50	11,7699		50	5,64428		
		75	42,8061		75	36,8624		75	26,1941		75	15,839		
		100	53,2633		100	46,8752		100	36,1701		100	27,4411		
		150	65,9958		150	59,4837		150	52,1841		150	45,0521		
	200	70,641	200	69,7951	200	62,6923	200	56,2459						
	250	74,0028	250	73,5506	250	67,5709	250	62,6923						
				310	76,8249		310	75,5123		310	70,59		500	82,7828
							500	83,5558		500	88,9667			
	VOLUME 1000	DEMANDA	FALHA	VOLUME 1500	DEMANDA	FALHA	VOLUME 2000	DEMANDA	FALHA	VOLUME 2500	DEMANDA	FALHA		
		10	0		10	0		10	0		10	0		
		20	0		20	0		20	0		20	0		
50		2,82214	50		0,91154	50		0,22606	50		0			
75		10,5083	75		5,03172	75		2,5742	75		1,48035			
100		20,6957	100		12,7543	100		8,28411	100		5,66616			
150		38,3869	150		29,7163	150		24,7178	150		21,1478			
200		50,0328	200		43,7687	200		38,8609	200		35,9221			
250		58,893	250		53,5331	250		49,8724	250		47,3565			
310		67,1115	310		63	310		59,7973	310		57,7044			
500		80,3034	500		78,3928	500		77,2041	500		76,4384			
750		88,7114	750		87,6905	750		87,3551	750		87,0342			
1000		92,6785	1000		92,5035	1000		92,1461	1000		92,117			
					1500	96,8497			1500		96,8205		1500	96,8205
						2000	98,6655		2000	99,3802				
VOLUME 3000	DEMANDA	FALHA	VOLUME 4000	DEMANDA	FALHA	VOLUME 5000	DEMANDA	FALHA	VOLUME 6000	DEMANDA	FALHA			
	10	0		10	0		10	0		10	0			
	20	0		20	0		20	0		20	0			
	50	0		50	0		50	0		50	0			
	75	0,81674		75	0,07292		75	0		75	0			
	100	3,98892		100	2,02727		100	1,02093		100	0,46671			
	150	18,6976		150	14,9347		150	12,3751		150	10,4937			
	200	33,3771		200	30,0153		200	27,7255		200	25,9024			
	250	45,4751		250	42,9738		250	41,3841		250	40,2976			
	310	56,5522		310	54,7656		310	53,6717		310	53,0591			
	500	75,928		500	75,2206		500	74,8706		500	74,7101			
	750	86,7352		750	86,5019		750	86,356		750	86,3196			
	1000	91,9128		1000	91,7888		1000	91,7451		1000	91,7232			
	1500	96,7257		1500	96,7257		1500	96,7039		1500	96,6893			
2000	98,6582	2000	98,6363	2000	98,6363	2000	98,6217							
2500	99,3802	2500	99,3802	2500	99,3656	2500	99,3656							
3000	99,6864	3000	99,6864	3000	99,6864	3000	99,6718							
			4000	99,8833		4000	99,8833		4000	99,8833		5000	99,949	
						5000	99,949		5000	99,949				
VOLUME 10000	DEMANDA	FALHA	VOLUME 15000	DEMANDA	FALHA	VOLUME 20000	DEMANDA	FALHA	VOLUME 20000	DEMANDA	FALHA			
	10	0		10	0		10	0		10	0			
	20	0		20	0		20	0		20	0			
	50	0		50	0		50	0		50	0			
	75	0		75	0		75	0		75	0			
	100	0		100	0		100	0		100	0			
	150	6,07453		150	4,02538		150	2,96069		150	2,96069			
	200	21,9646		200	20,0029		200	18,9893		200	18,9893			
	250	38,2411		250	37,3077		250	36,7899		250	36,7899			
	310	52,0601		310	51,5569		310	51,2944		310	51,2944			
	500	74,5059		500	74,3528		500	74,1924		500	74,1924			
	750	86,2248		750	86,1081		750	86,006		750	86,006			
	1000	91,6576		1000	91,5846		1000	91,4971		1000	91,4971			
	2500	99,3364		2500	99,3072		2500	99,2781		2500	99,2781			
5000	99,9347	5000	99,9198	5000	99,9125	5000	99,9125							
10000	99,9781	10000	99,9781	10000	99,9708	10000	99,9708							
			15000	99,9854		15000	99,9854		15000	99,9854		20000	99,9854	
						20000	99,9854		20000	99,9854				

(fonte: elaborado pelo autor)

As tabelas foram criadas para que se houvesse uma ferramenta que informasse dados quantitativos precisos, entretanto o foco deste trabalho era fornecer gráficos que pudessem auxiliar de forma prática, clara e relativamente precisa o projetista. Com os dados obtidos nas tabelas TAC foi possível criar gráficos para cada uma delas, resultando num total de 14. Assim como para as tabelas, os gráficos também receberam uma nomenclatura, desenvolvida de forma bastante semelhante a elas. A nomenclatura foi denominada GAC, seguindo exatamente os mesmos princípios antes abordados para a TAC, sendo o “T” substituído pelo “G” para que não mais fosse indicado que era uma tabela e sim um gráfico. O formato permaneceu o mesmo GAxCx, ou seja, um gráfico com área de captação de 50 m² e perda na captação de 0,1 recebeu o nome de GA50C01. A figura 14 apresenta o gráfico GA50C01 para melhor compreensão. Em alguns casos, após uma série de análises, foi decidido que algumas demandas elevadas deveriam ser excluídas dos gráficos, primeiramente por não contribuírem para a tomada de decisão do projetista já que seus valores apresentavam variações pequeníssimas e percentuais de falhas superiores à 98% e, por poluírem visualmente a interpretação do gráfico, visto que as curvas se amontoavam e tomavam a forma de uma reta praticamente. Os demais gráficos podem ser encontrados nos apêndices A à N.

Figura 14 – Gráfico GA50C01



7.2 RESUMO DOS RESULTADOS

O objetivo desta seção é apresentar de forma resumida os resultados gerados pelas ferramentas apresentadas na seção 7.1. As tabelas 9 e 10 apresentam a demanda máxima para que não haja falha de abastecimento, considerando perdas na captação de 10% (0,1) e 20% (0,2) respectivamente. Células com “X” indicam que não há demanda que consiga ser atendida sem falha.

Tabela 9 – Demanda máxima para falha zero (perda na captação = 0,1)

C = 0,1													
ÁREA 50		ÁREA 100		ÁREA 150		ÁREA 200		ÁREA 250		ÁREA 300		ÁREA 500	
(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)	
VOLUME DEMANDA		VOLUME DEMANDA		VOLUME DEMANDA		VOLUME DEMANDA		VOLUME DEMANDA		VOLUME DEMANDA		VOLUME DEMANDA	
(litros)	(l/d)												
250	X												
310	X												
500	10	500	20	500	10	500	10	500	10	500	10	500	10
750	10	750	20	750	10	750	10	750	10	750	10	750	10
1000	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000	20
1500	20	1500	20	1500	20	1500	20	1500	20	1500	20	1500	20
2000	20	2000	20	2000	20	2000	20	2000	20	2000	20	2000	20
2500	50	2500	50	2500	50	2500	50	2500	50	2500	50	2500	50
3000	50	3000	50	3000	50	3000	50	3000	50	3000	50	3000	50
4000	50	4000	75	4000	75	4000	75	4000	75	4000	75	4000	75
5000	75	5000	100	5000	100	5000	100	5000	100	5000	100	5000	100
6000	75	6000	100	6000	100	6000	100	6000	100	6000	100	6000	100
10000	100	10000	150	10000	150	10000	200	10000	200	10000	200	10000	200
15000	100	15000	150	15000	200	15000	250	15000	250	15000	250	15000	310
20000	100	20000	200	20000	250	20000	310	20000	310	20000	310	20000	310

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 10 – Demanda máxima para falha zero (perda na captação = 0,2)

C = 0,2													
ÁREA 50		ÁREA 100		ÁREA 150		ÁREA 200		ÁREA 250		ÁREA 300		ÁREA 500	
(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)	
VOLUME DEMANDA		VOLUME DEMANDA		VOLUME DEMANDA		VOLUME DEMANDA		VOLUME DEMANDA		VOLUME DEMANDA		VOLUME DEMANDA	
(litros)	(l/d)												
250	X												
310	X												
500	10	500	10	500	10	500	10	500	10	500	10	500	10
750	10	750	10	750	10	750	10	750	10	750	10	750	10
1000	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000	20
1500	20	1500	20	1500	20	1500	20	1500	20	1500	20	1500	20
2000	20	2000	20	2000	20	2000	20	2000	20	2000	20	2000	20
2500	20	2500	50	2500	50	2500	50	2500	50	2500	50	2500	50
3000	50	3000	50	3000	50	3000	50	3000	50	3000	50	3000	50
4000	50	4000	75	4000	75	4000	75	4000	75	4000	75	4000	75
5000	50	5000	75	5000	100	5000	100	5000	100	5000	100	5000	100
6000	75	6000	100	6000	100	6000	100	6000	100	6000	100	6000	100
10000	75	10000	100	10000	150	10000	150	10000	200	10000	200	10000	200
15000	100	15000	150	15000	200	15000	250	15000	250	15000	250	15000	310
20000	100	20000	150	20000	250	20000	250	20000	310	20000	310	20000	310

(fonte: elaborado pelo autor)

As tabelas 11 e 12 apresentam o volume mínimo de reservatório para que a demanda seja atendida sem falha, considerando perdas na captação de 10% (0,1) e de 20% (0,2) respectivamente. Células contendo o “X” indicam que necessitaria-se de um reservatório maior do que os apresentados nesse trabalho para atender a demanda solicitada.

Tabela 11 – Volume mínimo de reservatório para atendimento da demanda sem falha (perda na captação = 0,1)

C=0,1													
ÁREA 50		ÁREA 100		ÁREA 150		ÁREA 200		ÁREA 250		ÁREA 300		ÁREA 500	
(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)	
DEMANDA VOLUME		DEMANDA VOLUME		DEMANDA VOLUME		DEMANDA VOLUME		DEMANDA VOLUME		DEMANDA VOLUME		DEMANDA VOLUME	
(l/d)	(litros)												
10	500	10	500	10	500	10	500	10	500	10	500	10	500
20	1000	20	750	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000
50	2500	50	2500	50	2500	50	2500	50	2500	50	2500	50	2500
75	5000	75	4000	75	4000	75	4000	75	4000	75	4000	75	4000
100	10000	100	5000	100	5000	100	5000	100	5000	100	5000	100	5000
150	X	150	10000	150	10000	150	10000	150	10000	150	10000	150	10000
200	X	200	20000	200	15000	200	10000	200	10000	200	10000	200	10000
250	X	250	X	250	20000	250	15000	250	15000	250	15000	250	15000
310	X	310	X	310	X	310	20000	310	20000	310	20000	310	15000
500	X												
750	X												
1000	X												
1500	X												
2000	X												
2500	X												
3000	X												
4000	X												
5000	X												
6000	X												
10000	X												
15000	X												

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 12 – Volume mínimo de reservatório para atendimento da demanda sem falha (perda na captação = 0,2)

C=0,2													
ÁREA 50		ÁREA 100		ÁREA 150		ÁREA 200		ÁREA 250		ÁREA 300		ÁREA 500	
(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)		(m ²)	
DEMANDA VOLUME		DEMANDA VOLUME		DEMANDA VOLUME		DEMANDA VOLUME		DEMANDA VOLUME		DEMANDA VOLUME		DEMANDA VOLUME	
(l/d)	(litros)												
10	500	10	500	10	500	10	500	10	500	10	500	10	500
20	1000	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000
50	3000	50	2500	50	2500	50	2500	50	2500	50	2500	50	2500
75	6000	75	4000	75	4000	75	4000	75	4000	75	4000	75	4000
100	15000	100	6000	100	5000	100	5000	100	5000	100	5000	100	5000
150	X	150	15000	150	10000	150	10000	150	10000	150	10000	150	10000
200	X	200	X	200	15000	200	15000	200	10000	200	10000	200	10000
250	X	250	X	250	20000	250	15000	250	15000	250	15000	250	15000
310	X	310	X	310	X	310	X	310	20000	310	20000	310	15000
500	X												
750	X												
1000	X												
1500	X												
2000	X												
2500	X												
3000	X												
4000	X												
5000	X												
6000	X												
10000	X												
15000	X												

(fonte: elaborado pelo autor)

As tabelas 13 e 14 apresentam a área mínima de captação para que a demanda fosse atendida sem falha, considerando perdas na captação de 10% (0,1) e 20% (0,2) respectivamente. Células contendo o “X” indicam que haveria a necessidade de se ter áreas de captação superiores aos valores adotados no trabalho para que não houvesse falha no atendimento da demanda. Células contendo um hífen não foram analisadas uma vez que os valores de demanda são superiores ao volume do reservatório.

Tabela 13 – Área mínima de captação para atendimento da demanda sem falha (perda na captação = 0,1)

C=0,1

	VOLUME 250	VOLUME 310	VOLUME 500	VOLUME 750	VOLUME 1000	VOLUME 1500	VOLUME 2000	VOLUME 2500	VOLUME 3000	VOLUME 4000	VOLUME 5000	VOLUME 6000	VOLUME 10000	VOLUME 15000	VOLUME 20000
	(litros)														
DEMANDA ÁREA															
(l/d) (m ²)															
10	X	10	X	10	50	10	50	10	50	10	50	10	50	10	50
20	X	20	X	20	100	20	50	20	50	20	50	20	50	20	50
50	X	50	X	50	X	50	500	50	50	50	50	50	50	50	50
75	X	75	100	75	50	75	50								
100	X	100	500	100	100	100	50								
150	X	150	100												
200	X	200	100												
250	X	250	150												
310	.	310	X	310	200										
500	.	500	X												
750	.	750	.	750	X										
1000	.	1000	.	1000	X										
1500	.	1500	.	1500	.	1500	X								
2000	.	2000	.	2000	.	2000	X								
2500	.	2500	.	2500	.	2500	.	2500	X	2500	X	2500	X	2500	X
3000	.	3000	.	3000	.	3000	.	3000	.	3000	X	3000	X	3000	X
4000	.	4000	.	4000	.	4000	.	4000	.	4000	X	4000	X	4000	X
5000	.	5000	.	5000	.	5000	.	5000	.	5000	X	5000	X	5000	X
6000	.	6000	.	6000	.	6000	.	6000	.	6000	.	6000	X	6000	X
10000	.	10000	.	10000	.	10000	.	10000	.	10000	.	10000	.	10000	X
15000	.	15000	.	15000	.	15000	.	15000	.	15000	.	15000	.	15000	X

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 14 – Área mínima de captação para atendimento da demanda sem falha (perda na captação = 0,2)

C=0,2

	VOLUME 250	VOLUME 300	VOLUME 500	VOLUME 750	VOLUME 1000	VOLUME 1500	VOLUME 2000	VOLUME 2500	VOLUME 3000	VOLUME 4000	VOLUME 5000	VOLUME 6000	VOLUME 10000	VOLUME 15000	VOLUME 20000
(litros)															
DEMANDA-ÁREA															
(l/d) (m ²)															
10	X	10	X	10	50	10	50	10	50	10	50	10	50	10	50
20	X	20	X	20	50	20	50	20	50	20	50	20	50	20	50
50	X	50	X	50	X	50	X	50	50	50	50	50	50	50	50
75	X	75	100	75	50	75	50								
100	X	100	100	100	100										
150	X	150	200	150	100										
200	X	200	150												
250	X	250	200												
310	X	310	250												
500	X	500	310												
750	X	750	500												
1000	X	1000	750												
1500	X	1500	1000												
2000	X	2000	1500												
2500	X	2500	2000												
3000	X	3000	2500												
4000	X	4000	3000												
5000	X	5000	4000												
6000	X	6000	5000												
10000	X	10000	6000												
15000	X	15000	10000												
															15000

(fonte: elaborado pelo autor)

7.3 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA

Após o desenvolvimento das ferramentas de tomada de decisão, torna-se necessário que seja demonstrado como utilizá-las. Esta seção tem como objetivo explicar como usar de maneira adequada e eficaz as ferramentas abordando três situações comuns no dimensionamento destes sistemas. As situações analisadas são:

- a) volume desconhecido, demanda conhecida, índice de falha aceitável conhecido;
- b) demanda desconhecida, volume conhecido, índice de falha aceitável conhecido;
- c) índice de falha aceitável desconhecido, volume conhecido, demanda conhecida.

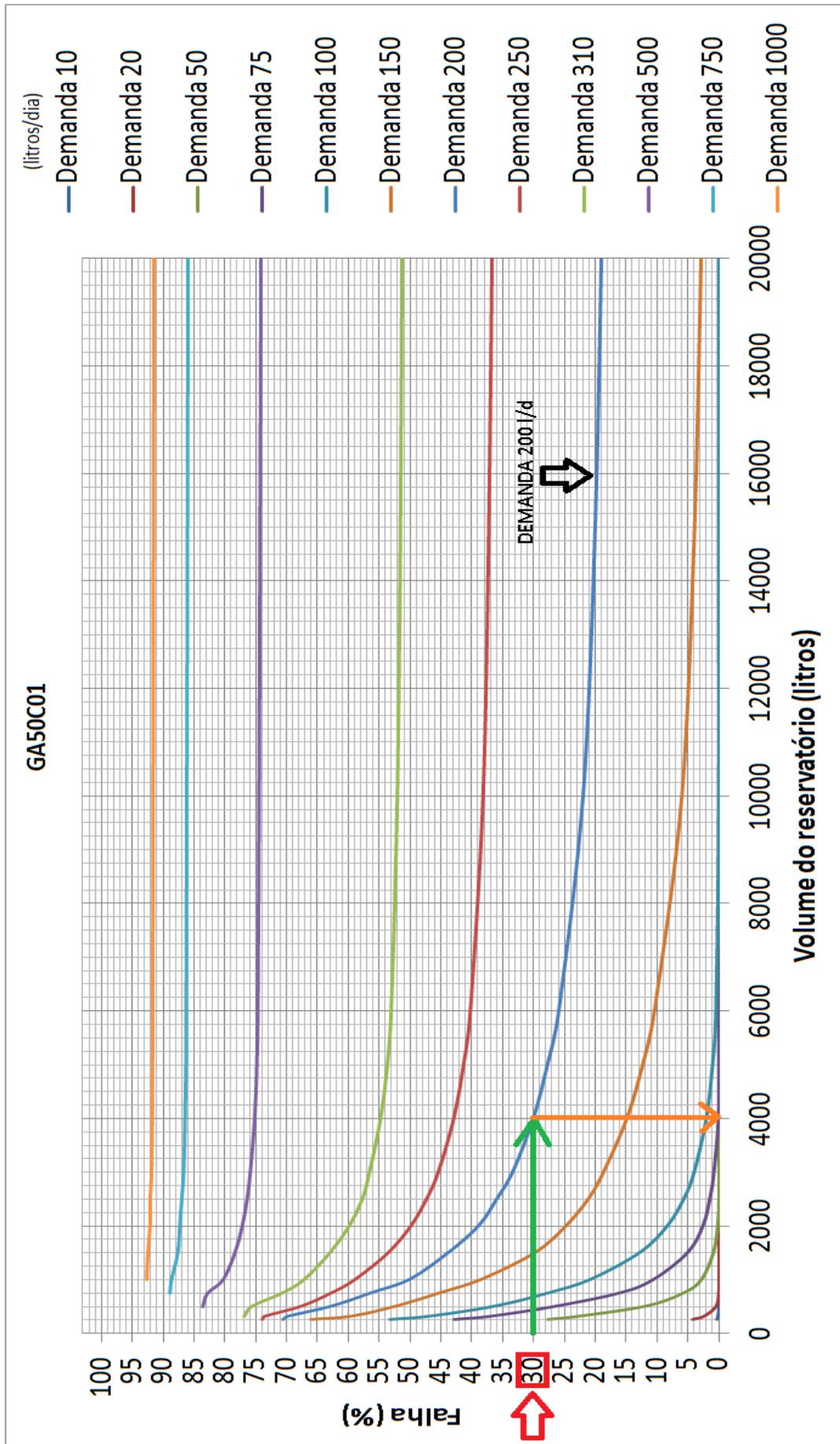
Foram adotadas apenas estas três combinações, pois a variável perda de captação é escolhida previamente à utilização da ferramenta bem como a variável área de captação.

7.3.1 Situação 1 – Volume desconhecido

Nesta situação deseja-se conhecer o valor do volume de reservatório baseando-se nos valores pré-determinados e conhecidos da demanda de consumo e da falha de atendimento. A figura 15 apresenta o gráfico GA50C01, indicando, por meio de setas coloridas, os passos a serem tomados para a obtenção do valor do volume de reservatório. Os passos são:

- a) primeiramente deve-se adotar um valor para perda na captação no intuito de definir qual gráfico irá se usar. Neste exemplo utilizou-se 0,1;
- b) o segundo passo é escolher o gráfico referente à área de captação disponível para o projeto, caso não haja um valor de área exato, deve-se interpolar. Neste caso foi adotada a área de 50 m²;
- c) o terceiro passo é determinar o valor da demanda de consumo. Para este exemplo foi adotado o valor de 200 L/d, representada pela curva azul, assinalada com uma seta para maior destaque na figura 15;
- d) o quarto passo é definir o quanto será aceito de falha ao atendimento. Aceitou-se para fins explicativos uma falha de 30%, destacada por um retângulo vermelho com uma seta da mesma cor, na figura 15;
- e) o último passo consiste em identificar o volume que resulta da adoção dos valores anteriores. Deve-se olhar para o percentual de falha de 30% e seguir horizontalmente a seta verde até encontrar a curva da demanda desejada (200 L/d). Partindo da curva, segue-se verticalmente a seta de cor laranja até o eixo do volume do reservatório, onde encontra-se o valor do reservatório para tal situação. Neste caso o volume foi de 4000 litros.

Figura 15 – Aplicação da Situação 1 – Volume desconhecido – Gráfico GA50C01



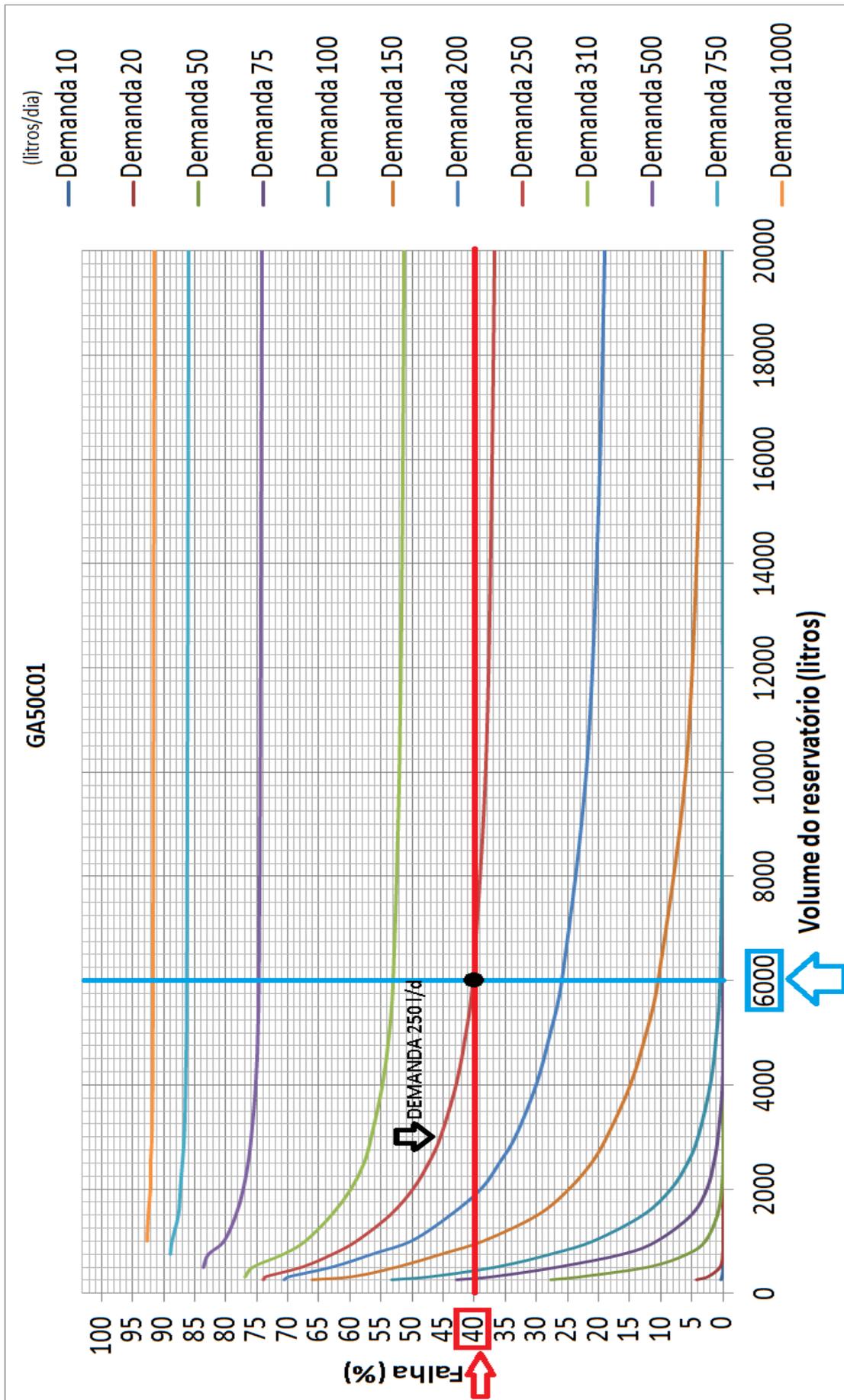
(fonte: elaborado pelo autor)

7.3.2 Situação 2 – Demanda desconhecida

Na situação 2 deseja-se conhecer o valor da demanda de consumo considerando-se os valores pré-determinados e conhecidos do volume de reservatório e da falha de atendimento aceitável pelo projetista. A figura 16 apresenta o gráfico GA50C01, na qual, por meio de setas e retas coloridas, são indicados os passos a serem seguidos para a obtenção do valor da demanda de consumo. Os passos são:

- a) primeiramente deve-se adotar um valor para perda na captação no intuito de definir qual gráfico irá se usar. Neste exemplo utilizou-se 0,1;
- b) o segundo passo é escolher o gráfico referente à área de captação disponível para o projeto, caso não haja um valor de área exato, deve-se interpolar. Neste caso foi adotada a área de 50 m²;
- c) o terceiro passo é determinar o valor do volume de reservatório. Para este exemplo foi adotado o valor de 6000 litros, destacado por um retângulo azul com seta da mesma cor, na figura 16;
- d) o quarto passo é definir o quanto será aceito de falha ao atendimento. Aceitou-se para fins explicativos uma falha de 40%, destacada por um retângulo vermelho com uma seta da mesma cor, na figura 16;
- e) o último passo consiste em identificar a demanda resultante dos dados utilizados. Para tal identifica-se o valor de 40% de falha no eixo vertical e traça-se uma linha horizontal conforme a linha vermelha apresentada na figura 16. Feito isso, identifica-se o volume de 6000 litros no eixo horizontal e traça-se uma linha vertical conforme a linha azul representada na figura 16. O ponto de cruzamento das duas linhas indica o valor da demanda. Caso o cruzamento dessas linhas não se dê exatamente em cima de uma curva do gráfico, faz-se uma interpolação. Para este exemplo o resultado da demanda foi de 250 Litros/dia.

Figura 16 – Aplicação da Situação 2 – Demanda desconhecida – Gráfico GA50C01



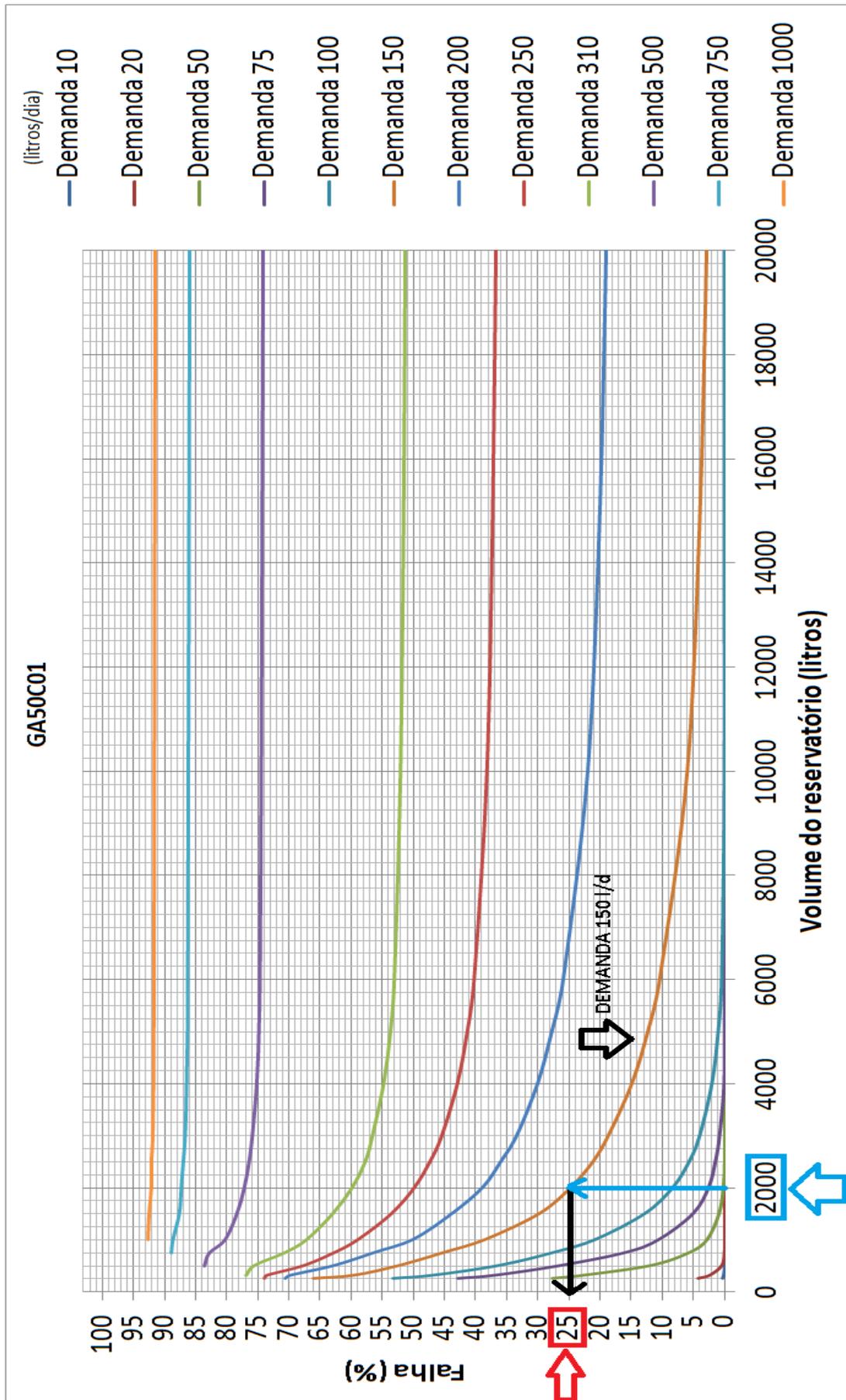
(fonte: elaborado pelo autor)

7.3.3 Situação 3 – Índice de falha aceitável desconhecida

A última situação aborda o fato de não se conhecer o valor da falha de atendimento. A aplicação da ferramenta na situação 3 é similar às feitas anteriormente onde, mais uma vez se pré-determina duas variáveis com intuito de se descobrir uma terceira. Aqui são escolhidos previamente os valores para as variáveis volume de reservatório e demanda de consumo. A figura 17 apresenta o gráfico GA50C01, que servirá para a ilustração do uso do método. Foram inseridas na figura setas e retângulos para a melhor compreensão dos passos. Os passos são:

- a) o primeiro passo é adotar um valor para perda na captação. Neste exemplo utilizou-se 0,1;
- b) o segundo passo é escolher o gráfico referente à área de captação disponível para o projeto, caso não haja um valor de área exato, deve-se interpolar. Neste caso foi adotada a área de 50 m²;
- c) o terceiro passo é determinar o valor do volume de reservatório. Para este exemplo foi adotado o valor de 2000 litros, destacado por um retângulo azul com seta da mesma cor, na figura 17;
- d) o quarto passo é definir qual será a demanda de atendimento utilizada. Neste exemplo adotou-se uma demanda de 150 L/d. Na figura 17 a curva referente a esta demanda está representada pela cor laranja e foi inserida uma seta de cor preta para destacar a curva;
- e) o último passo consiste em identificar o percentual de falha. Para isso deve-se encontrar o valor adotado para o volume do reservatório e traçar uma reta vertical do valor do volume do reservatório até encontrar a curva da demanda de 150 L/d, conforme a seta azul demonstra na figura 17. Depois de marcado o ponto onde a seta azul encontra a curva, parte-se deste ponto horizontalmente até o eixo da falha, onde se verifica o valor da falha, de acordo com a seta preta apresentada na figura 17. Faz-se então a leitura do valor e obtêm-se o resultado. No caso deste exemplo a falha foi de 25%, valor destacado pelo retângulo vermelho e seta de mesma cor.

Figura 17 – Aplicação da Situação 3 – Índice de falha aceitável desconhecida – Gráfico GA50C01



(fonte: elaborado pelo autor)

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intuito da realização deste trabalho era ao seu final produzir ferramentas claras e precisas que auxiliassem o projetista a tomar decisões de forma prática e rápida no momento da elaboração de um projeto de aproveitamento de água da chuva. Através da criação de um modelo na qual foram inseridos os dados de uma série histórica diária da chuva de Porto Alegre foi possível obter-se valores para a construção das ferramentas deste trabalho. Como resultado da combinação das cinco variáveis (área de captação, volume de reservatório, perda na captação, demanda de consumo e falha no atendimento de uma demanda) foram geradas 14 tabelas e 14 gráficos como ferramentas para tomada de decisões.

As referidas ferramentas abrangem valores com grande variação para que se enquadrassem nas mais diversas situações reais. Casos extremos de uso da água da chuva, desde os mais simples, nos quais se tem demandas baixas, áreas de captação e volume de reservatórios pequenos, geralmente aplicadas às residências unifamiliares, até aquele que se tem demandas elevadas, áreas de captação e volumes de reservatório grandes que serviriam à escolas, mercados, áreas industriais e comerciais, entre outros.

Foi verificado que para uma mesma área de captação à medida que se aumentava o volume do reservatório e diminuía-se a demanda de consumo, o percentual de falha reduzia-se. A conclusão anterior é aplicada também para a área de captação, ou seja, mantidas as relações, áreas de captação maiores resultam em percentuais de falhas menores. O oposto vale para as perdas na captação sendo que valores menores ocasionam percentuais de falha menores.

O grande benefício trazido por estas ferramentas é a sua fácil utilização permitindo que pessoas leigas possam entender e extrair as informações nelas contidas com clareza e praticidade. São ferramentas simples, entretanto ricas em informações que, por tal características podem ser empregadas no uso diário sem maiores dificuldades.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 5626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 15527**: água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei n. 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1 da Lei n. 8011, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n. 7990, 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 1997. Não paginado Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/Institucional/Legislacao/leis/lei9433.pdf>>. Acesso em: 3 nov. 2011.

BUFFON, F. T. **Aproveitamento de águas pluviais**: efeito sobre o sistema de drenagem urbana. 2010. 59 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

COELHO, L. G. **Aproveitamento de águas pluviais em condomínios verticais**: custo ou investimento? 2007. 55 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

DREHER, V. L. P. **Possíveis soluções para o uso racional da água na edificação da câmara municipal de Porto Alegre**. 2008. 102 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

GOMES, J.; WEBER, D. C.; DELONG, C. M. Dimensionamento de Reservatório de Armazenamento de Águas Pluviais, usando um Critério Financeiro. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 89-100, jan./mar. 2010.

GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da água da chuva**. 1. ed. Brasil: Torre de Papel, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR. **Água**. [S. l.], [20--?]. Disponível em: <http://www.idec.org.br/biblioteca/mcs_agua.pdf>. Acesso em: 30 out. 2011.

MANO, R. S. **Captação Residencial de Água da Chuva para Fins não Potáveis em Porto Alegre**: aspectos básicos da viabilidade e benefícios do sistema. 2004. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PIO, A. A. B.; DOMINGUES, A. F.; SARROUF, L.; PINA, R. S.; GUSMAN JÚNIOR, U. (Coord.). **Conservação e Reúso da Água em Edificações**. São Paulo: ANA; FIESP; SINDUSCON/SP, 2005.

PORTO ALEGRE. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Decreto n. 9369**, de 18 de agosto de 1988. Regulamenta a Lei Complementar n. 170, de 31 de dezembro de 1987, alterada pela Lei Complementar n. 180, de 18 de agosto de 1988, que estabelece normas para instalações hidrossanitárias e serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário prestados pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos. Porto Alegre, 1988. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu_doc/cip9369-decreto.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2011.

_____. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Decreto n. 16305**, de 26 de maio de 2009. Regulamenta a Lei n. 10506, de 5 de agosto de 2008, que institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas. Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000030452.DOCN.&l=20&u=/netahtml/sirel/simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>>. Acesso em: 4 nov. 2011.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**: saneamento para todos. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. v. 4.

APÊNDICE A – TA50C01 e GA50C01
(elaborado pelo autor)

C=0,1

ÁREA 50	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	250	10	0,36462
		20	4,28061
		50	27,7109
		75	42,8061
		100	53,2633
		150	65,9958
	200	70,641	
	250	74,0028	
	1000	10	0
		20	0
		50	2,82214
		75	10,5083
		100	20,6957
		150	38,3869
		200	50,0328
		250	58,893
		310	67,1115
		500	80,3034
		750	88,7114
	1000	92,6785	

ÁREA 50	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	310	10	0,1896
		20	2,42106
		50	22,6646
		75	36,8624
		100	46,8752
		150	59,4837
	200	69,7951	
	250	73,5506	
	310	76,8249	
	1500	10	0
		20	0
		50	0,91154
		75	5,03172
		100	12,7543
		150	29,7163
		200	43,7687
		250	53,5331
		310	63
		500	78,3928
		750	87,6905
	1000	92,5035	
	1500	96,8716	

ÁREA 50	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	500	10	0
		20	0,4813
		50	11,7699
		75	26,1941
		100	36,1701
		150	52,1841
	200	62,6923	
	250	67,5709	
	310	75,5123	
	500	83,5558	
	2000	10	0
		20	0
		50	0,22606
		75	2,5742
		100	8,28411
		150	24,7178
		200	38,8609
		250	49,8724
		310	59,7973
		500	77,2041
		750	87,3551
	1000	92,1461	
	1500	96,8497	
	2000	98,6655	

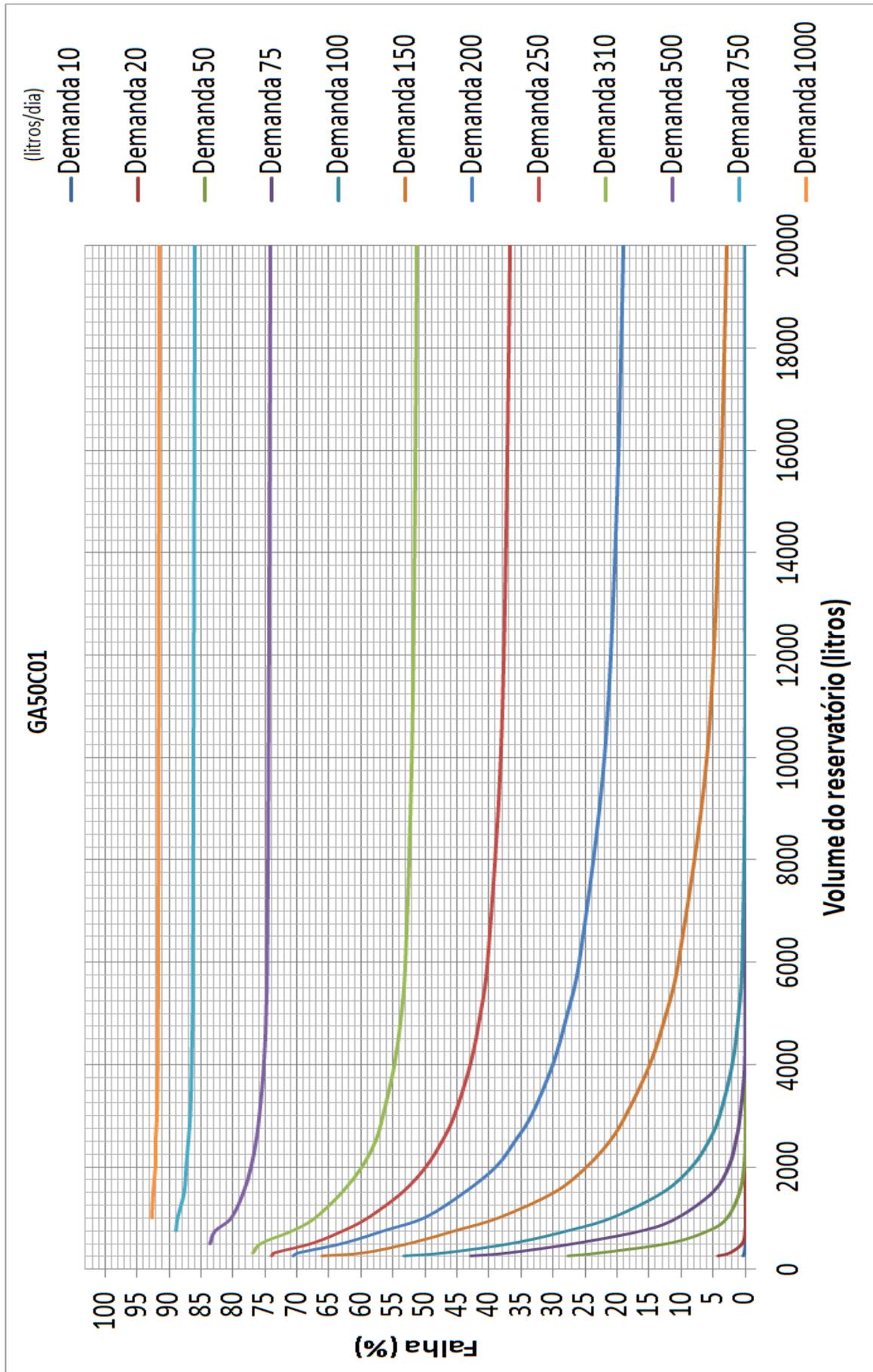
ÁREA 50	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	750	10	0
		20	0,08022
		50	5,64428
		75	15,839
		100	27,4411
		150	45,0521
	200	56,2459	
	250	62,6923	
	310	70,59	
	500	82,7828	
	750	88,9667	
	2500	10	0
		20	0
		50	0
		75	1,48035
		100	5,66616
		150	21,1478
		200	35,9221
		250	47,3565
		310	57,7044
		500	76,4384
		750	87,0342
	1000	92,117	
	1500	96,8205	
	2000	98,6582	
	2500	99,3802	

ÁREA 50	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	3000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0,81674
		100	3,98892
		150	18,6976
		200	33,3771
		250	45,4751
		310	56,5522
		500	75,928
		750	86,7352
		1000	91,9128
		1500	96,7257
		2000	98,6582
	2500	99,3802	
	3000	99,6864	
	10000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0
		150	6,07453
		200	21,9646
		250	38,2411
		310	52,0601
		500	74,5059
		750	86,2248
	1000	91,6576	
	2500	99,3364	
	5000	99,9347	
	10000	99,9781	

ÁREA 50	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	4000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0,07292
		100	2,02727
		150	14,9347
		200	30,0153
		250	42,9738
		310	54,7656
		500	75,2206
		750	86,5019
		1000	91,7888
		1500	96,7257
		2000	98,6363
	2500	99,3802	
	3000	99,6864	
	4000	99,8833	
	15000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0
		150	4,02538
		200	20,0029
		250	37,3077
		310	51,5569
		500	74,3528
		750	86,1081
	1000	91,5846	
	2500	99,3072	
	5000	99,9198	
	10000	99,9781	
	15000	99,9854	

ÁREA 50	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	5000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	1,02093
		150	12,3751
		200	27,7255
		250	41,3841
		310	53,6717
		500	74,8706
		750	86,356
		1000	91,7451
		1500	96,7039
		2000	98,6363
	2500	99,3656	
	3000	99,6864	
	4000	99,8833	
	5000	99,949	
	20000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0
		150	2,96069
		200	18,9893
		250	36,7899
		310	51,2944
		500	74,1924
		750	86,006
	1000	91,4971	
	2500	99,2781	
	5000	99,9125	
	10000	99,9708	
	15000	99,9854	
	20000	99,9854	

ÁREA 50	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	6000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0,46671
		150	10,4937
	200	25,9024	
	250	40,2976	
	310	53,0591	
	500	74,7101	
	750	86,3196	
	1000	91,7232	
	1500	96,6893	
	2000	98,6217	
	2500	99,3656	
	3000	99,6718	
	4000	99,8833	
	5000	99,949	
	6000	99,9708	



APÊNDICE B – TA100C01 e GA100C01
(elaborado pelo autor)

C=0,1

ÁREA 100		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	250	10	0,29899		
		20	3,22322		
		50	22,4094		
		75	36,7534		
		100	46,9773		
		150	59,8337		
		200	63,4949		
	250	65,9666			
	1000	10	0		
		20	0		
		50	1,35638		
		75	5,56406		
		100	11,7699		
		150	26,1941		
200		36,1701			
250	44,549				
310	53,1977				
500	67,5709				
750	78,7428				
1000	83,5558				

ÁREA 100		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	310	10	0,16772		
		20	1,66995		
		50	17,6621		
		75	30,3362		
		100	39,5537		
		150	51,3381		
		200	62,5757		
		250	65,3832		
		310	68		
		1500	88,9667		

ÁREA 100		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	500	10	0		
		20	0		
		50	7,65697		
		75	19,4268		
		100	27,7109		
		150	42,8061		
		200	53,2633		
	250	57,1137			
	310	66,6448			
	500	74,0028			
	2000	10	0		
		20	0		
		50	0,05105		
		75	0,80945		
100		2,82214			
150		10,5083			
200		20,6957			
250	29,7893				
310	39,6777				
500	58,893				
750	73,6746				
1000	80,3034				
1500	88,7114				
2000	92,6785				

ÁREA 100		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	750	10	0		
		20	0		
		50	3,25968		
		75	9,65507		
		100	18,4351		
		150	34,697		
		200	45,2126		
	250	50,113			
	310	59,0607			
	500	72,7777			
	750	79,4283			
	2500	10	0		
		20	0		
		50	0		
75		0,35003			
100		1,59702			
150		7,1538			
200		16,065			
250	25,2315				
310	34,8501				
500	55,8813				
750	71,1806				
1000	79,6471				
1500	88,4052				
2000	92,591				
2500	95,2162				

ÁREA 100		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	3000	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0,11668		
		100	0,91154		
		150	5,03172		
		200	12,7543		
		250	21,6145		
		310	31,5686		
		500	53,5331		
		750	69,4232		
		1000	78,3928		
		1500	87,6905		
		2000	92,5035		
2500	95,1652				
3000	96,8716				

ÁREA 100		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	4000	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0		
		100	0,22606		
		150	2,5742		
		200	8,28411		
		250	16,4297		
		310	26,2379		
		500	49,8724		
		750	67,4105		
		1000	77,2041		
		1500	87,3551		
		2000	92,1461		
2500	95,1214				
3000	96,8497				
4000	98,6655				

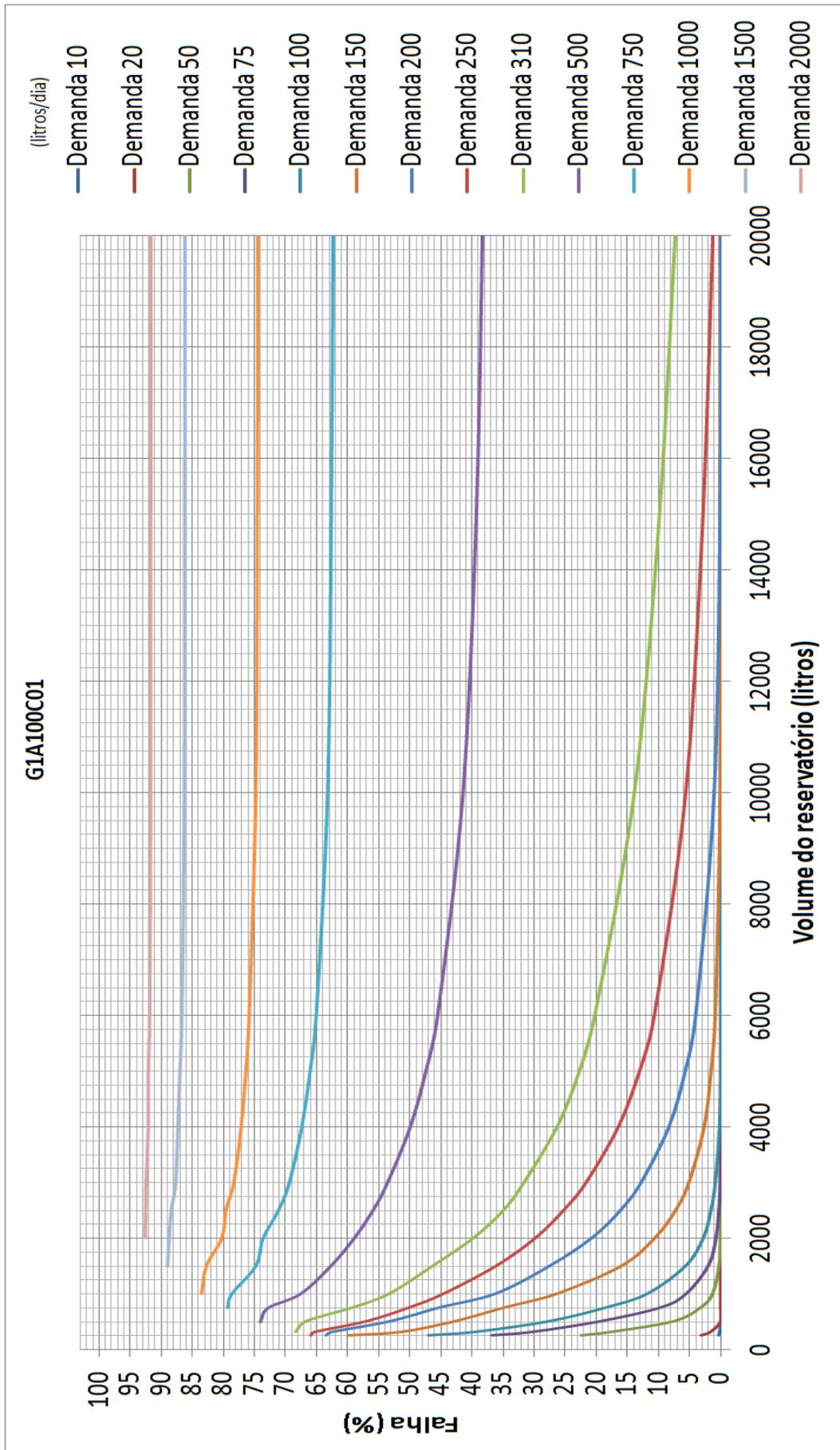
ÁREA 100		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	5000	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0		
		100	0		
		150	1,48035		
		200	5,66662		
		250	13,0314		
		310	22,6792		
		500	47,3565		
		750	66,0614		
		1000	76,4384		
		1500	87,0342		
		2000	92,117		
2500	94,9245				
3000	96,8205				
4000	98,6582				
5000	99,3802				

ÁREA 100		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	6000	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0		
		100	0		
		150	0,81674		
		200	3,98892		
		250	10,6614		
		310	20,2071		
		500	45,4751		
		750	65,0842		
		1000	75,928		
		1500	86,7352		
		2000	91,9128		
2500	94,9172				
3000	96,7257				
4000	98,6582				
5000	99,3802				
6000	99,6864				

ÁREA 100		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	10000	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0		
		100	0		
		150	0		
		200	1,02093		
		250	5,60782		
		310	13,8482		
		500	41,3841		
		750	63,2393		
		1000	74,8706		
		1500	86,356		
		2000	91,7451		
2500	94,8006				
3000	96,7039				
4000	98,6963				
5000	99,3656				
10000	99,949				

ÁREA 100		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	15000	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0		
		100	0		
		150	0		
		200	0,07292		
		250	2,82214		
		310	9,80821		
		500	39,2328		
		750	62,6486		
		1000	74,6007		
		1500	86,2831		
		2000	91,7086		
2500	94,7714				
3000	96,6747				
4000	98,6217				
5000	99,351				
10000	99,949				
15000	99,9781				

ÁREA 100		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	20000	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0		
		100	0		
		150	0		
		200	0		
		250	1,2397		
		310	7,27047		
		500	38,2411		
		750	62,3277		
		1000	74,5059		
		1500	86,2248		
		2000	91,6576		
2500	94,7422				
3000	96,6528				
4000	98,5926				
5000	99,3364				
10000	99,9344				
15000	99,9781				
20000	99,9781				



APÊNDICE C – TA150C01 e GA150C01
(elaborado pelo autor)

C = 0,1

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
250	10	0,2844	
	20	2,85131	
	50	20,3239	
	75	34,2011	
	100	44,2281	
	150	57,0408	
	200	60,1619	
250	62,5902		
1000	10	0	
	20	0	
	50	0,92613	
	75	4,12747	
	100	9,08627	
	150	21,7459	
	200	30,606	
	250	38,613	
	310	46,9044	
	500	61,2922	
750	73,2808		
1000	77,8313		

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
310	10	0,16772	
	20	1,39284	
	50	15,6129	
	75	27,5651	
	100	36,4034	
	150	47,9399	
	200	59,3087	
250	62,0287		
310	64,2529		
1500	10	0	
	20	0	
	50	0,26982	
	75	1,31263	
	100	4,01079	
	150	11,7699	
	200	21,4833	
	250	29,1621	
	310	39,1891	
	500	54,9624	
750	67,5709		
1000	76,8395		
1500	83,5558		

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
500	10	0	
	20	0,31357	
	50	6,27871	
	75	17,0787	
	100	24,2325	
	150	39,007	
	200	49,2307	
250	52,6362		
310	62,5319		
500	69,2263		
2000	10	0	
	20	0	
	50	0,03646	
	75	0,49588	
	100	1,8158	
	150	7,06629	
	200	14,468	
	250	22,475	
	310	31,4519	
	500	49,9088	
750	66,0104		
1000	72,6829		
1500	83,038		
2000	87,4936		

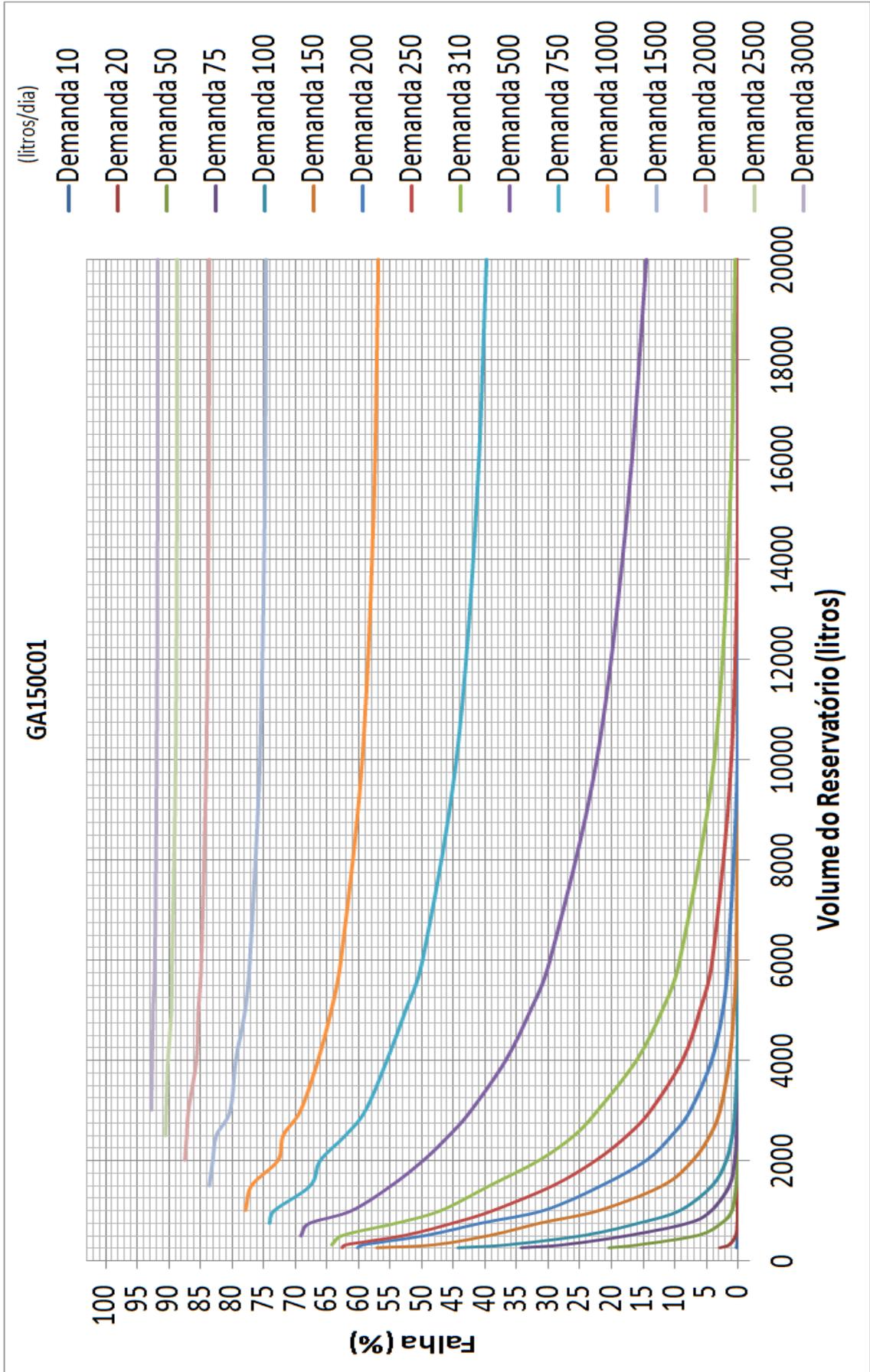
ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
750	10	0	
	20	0,06563	
	50	2,52315	
	75	7,65697	
	100	15,4233	
	150	30,9998	
	200	40,3705	
250	44,9063		
310	53,8103		
500	67,921		
750	74,0028		
2500	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0,20419	
	100	0,88967	
	150	4,3827	
	200	10,4572	
	250	17,5162	
	310	25,8806	
	500	45,796	
750	62,0506		
1000	71,8515		
1500	82,4911		
2000	87,1873		
2500	90,5856		

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
3000	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0,05105	
	100	0,474	
	150	2,79297	
	200	7,52571	
	250	13,8409	
	310	22,1833	
	500	42,3175	
	750	58,893	
	1000	69,1023	
	1500	80,3034	
2000	86,9248		
2500	90,4616		
3000	92,6785		
10000	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0	
	200	0,08022	
	250	1,13761	
	310	3,79931	
	500	22,3875	
	750	44,5344	
	1000	59,3597	
	1500	75,6363	
	2000	84,0662	
	2500	88,974	
	3000	91,8836	
	4000	95,6683	
5000	97,5644		
10000	99,8104		

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
4000	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0,08751	
	150	1,30533	
	200	4,16393	
	250	8,85291	
	310	16,065	
	500	36,8337	
	750	55,4875	
	1000	66,3531	
	1500	79,421	
2000	85,6487		
2500	90,2064		
3000	92,5618		
4000	95,9163		
15000	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0	
	200	0	
	250	0,07292	
	310	1,31263	
	500	17,5089	
	750	41,377	
	1000	57,5294	
	1500	74,8706	
	2000	83,6797	
	2500	88,7844	
	3000	91,7451	
	4000	95,6173	
5000	97,5498		
10000	99,8104		
15000	99,949		

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
5000	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0,61256	
	200	2,41377	
	250	6,08182	
	310	12,0105	
	500	32,8812	
	750	52,5414	
	1000	64,2602	
	1500	77,9552	
2000	85,3205		
2500	89,6594		
3000	92,4378		
4000	95,8725		
5000	97,6373		
20000	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0	
	200	0	
	250	0	
	310	0,44483	
	500	14,5045	
	750	39,7579	
	1000	56,8147	
	1500	74,6518	
	2000	83,563	
	2500	88,7406	
	3000	91,7086	
	4000	95,5881	
5000	97,5352		
10000	99,7958		
15000	99,949		
20000	99,9781		

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
6000	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0,22606	
	200	1,58244	
	250	4,14206	
	310	9,23941	
	500	29,8038	
	750	49,8724	
	1000	62,7361	
	1500	77,2041	
2000	84,847		
2500	89,5574		
3000	92,1461		
4000	95,8507		
5000	97,63		
6000	98,6655		



APÊNDICE D – TA200C01 e GA200C01
(elaborado pelo autor)

C = 0,1

ÁREA 200		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	250	10	0,27711		
		20	2,64712		
		50	19,1716		
		75	32,7062		
		100	42,6019		
		150	55,4437		
		200	58,295		
250	60,1765				
VOLUME	1000	10	0		
		20	0		
		50	0,77299		
		75	3,47116		
		100	7,65697		
		150	19,4268		
		200	27,7109		
		250	35,1856		
		310	43,5718		
		500	57,1137		
750	69,6638				
1000	74,0028				

ÁREA 200		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	310	10	0,16772		
		20	1,27616		
		50	14,7597		
		75	26,1139		
		100	34,6168		
		150	45,7668		
		200	57,3908		
250	59,6733				
310	62,0433				
VOLUME	1500	10	0		
		20	0		
		50	0,24065		
		75	0,94071		
		100	3,25968		
		150	9,65507		
		200	18,4351		
		250	25,4211		
		310	35,4335		
		500	50,113		
750	62,8819				
1000	72,7777				
1500	79,4283				

ÁREA 200		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	500	10	0		
		20	0,29899		
		50	5,61511		
		75	15,7734		
		100	22,4094		
		150	36,7534		
		200	46,9773		
250	49,7922				
310	60,264				
500	65,9666				
VOLUME	2000	10	0		
		20	0		
		50	0,03646		
		75	0,36462		
		100	1,35638		
		150	5,56406		
		200	11,7699		
		250	18,5445		
		310	27,1275		
		500	44,549		
750	61,0151				
1000	67,5709				
1500	78,7428				
2000	83,5558				

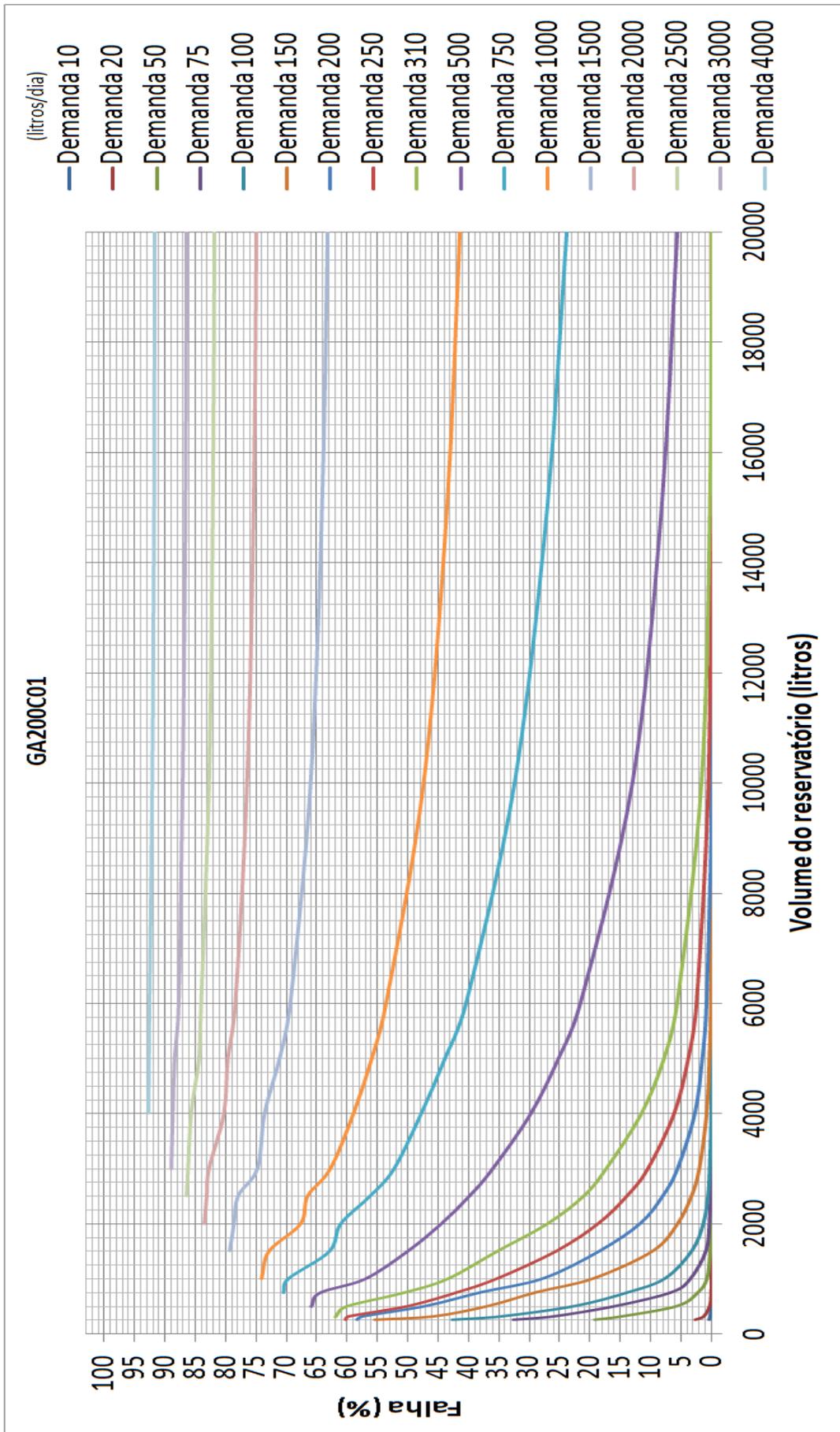
ÁREA 200		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	750	10	0		
		20	0,06563		
		50	2,20958		
		75	6,59228		
		100	13,6804		
		150	28,8194		
		200	37,8692		
250	41,7341				
310	50,8058				
500	64,53				
750	70,4368				
VOLUME	2500	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0,16772		
		100	0,61985		
		150	3,29614		
		200	8,08722		
		250	13,8409		
		310	21,1624		
		500	39,9402		
750	56,2167				
1000	66,4333				
1500	78,0354				
2000	83,1693				
2500	86,4654				

ÁREA 200		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	3000	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0,03646		
		100	0,32086		
		150	2,01998		
		200	5,64428		
		250	10,3916		
		310	17,4143		
		500	36,0753		
		750	52,2424		
		1000	62,6934		
		1500	74,8487		
		2000	82,7876		
2500	86,2029				
3000	88,9667				
VOLUME	10000	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0		
		100	0		
		150	0		
		200	0		
		250	0,45942		
		310	1,69912		
		500	13,0314		
		750	32,4072		
		1000	47,3565		
		1500	66,0614		
		2000	76,4384		
2500	82,7244				
3000	87,0342				
4000	92,117				
5000	94,9245				
10000	99,3802				

ÁREA 200		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	4000	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0		
		100	0,05105		
		150	0,80945		
		200	2,82219		
		250	6,08182		
		310	11,6021		
		500	29,7893		
		750	47,7722		
		1000	58,893		
		1500	73,6746		
		2000	80,3036		
2500	85,707				
3000	88,7114				
4000	92,6785				
VOLUME	15000	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0		
		100	0		
		150	0		
		200	0		
		250	0		
		310	0,29169		
		500	8,21117		
		750	27,0327		
		1000	43,5062		
		1500	64,1727		
		2000	75,3373		
2500	82,0827				
3000	86,5383				
4000	91,8472				
5000	94,8297				
10000	99,3802				
15000	99,8687				

ÁREA 200		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	5000	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0		
		100	0		
		150	0,35003		
		200	1,59702		
		250	3,76853		
		310	7,88303		
		500	25,2315		
		750	43,8781		
		1000	55,8813		
		1500	71,1806		
		2000	79,6471		
2500	84,3871				
3000	88,4052				
4000	92,591				
5000	95,2162				
VOLUME	20000	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0		
		100	0		
		150	0		
		200	0		
		250	0		
		310	0		
		500	5,60782		
		750	23,8168		
		1000	41,3841		
		1500	63,2393		
		2000	74,8706		
2500	81,7983				
3000	86,356				
4000	91,7451				
5000	94,8001				
10000	99,3656				
15000	99,8687				
20000	99,9486				

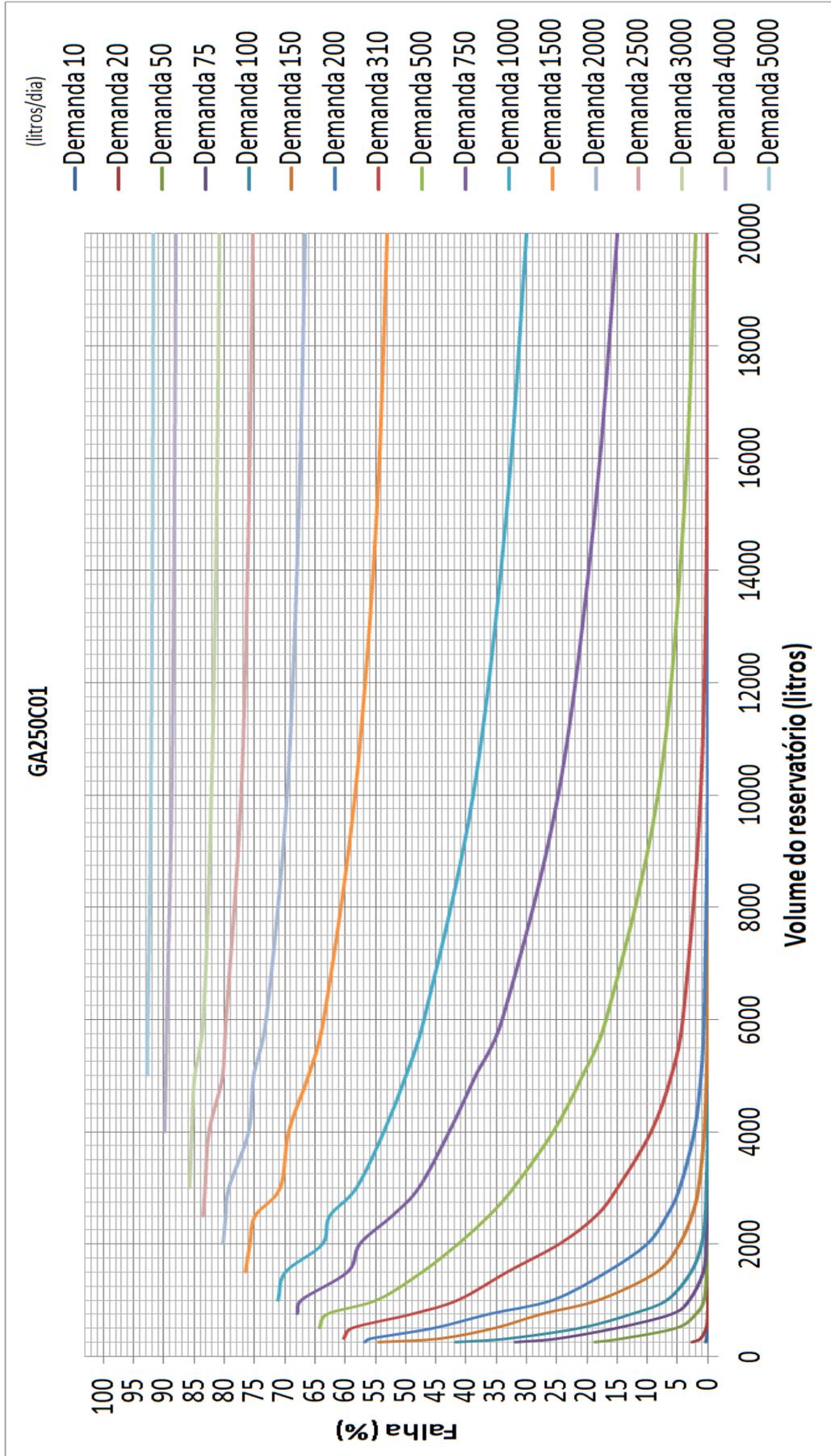
ÁREA 200		DEMANDA		FALHA	
VOLUME	6000	10	0		
		20	0		
		50	0		
		75	0		
		100	0		
		150	0,11668		
		200	0,91154		
		250	2,42106		
		310	5,70991		
		500	21,6145		
		750	40,4		
		1000	53,5331		
		1500	69,4232		
		2000	78,3928		
2500	84,037				
3000	87,6905				
4000	92,5035				
5000	95,1652				
6000	96,8716				



APÊNDICE E – TA250C01 e GA250C01
(elaborado pelo autor)

C = 0,1

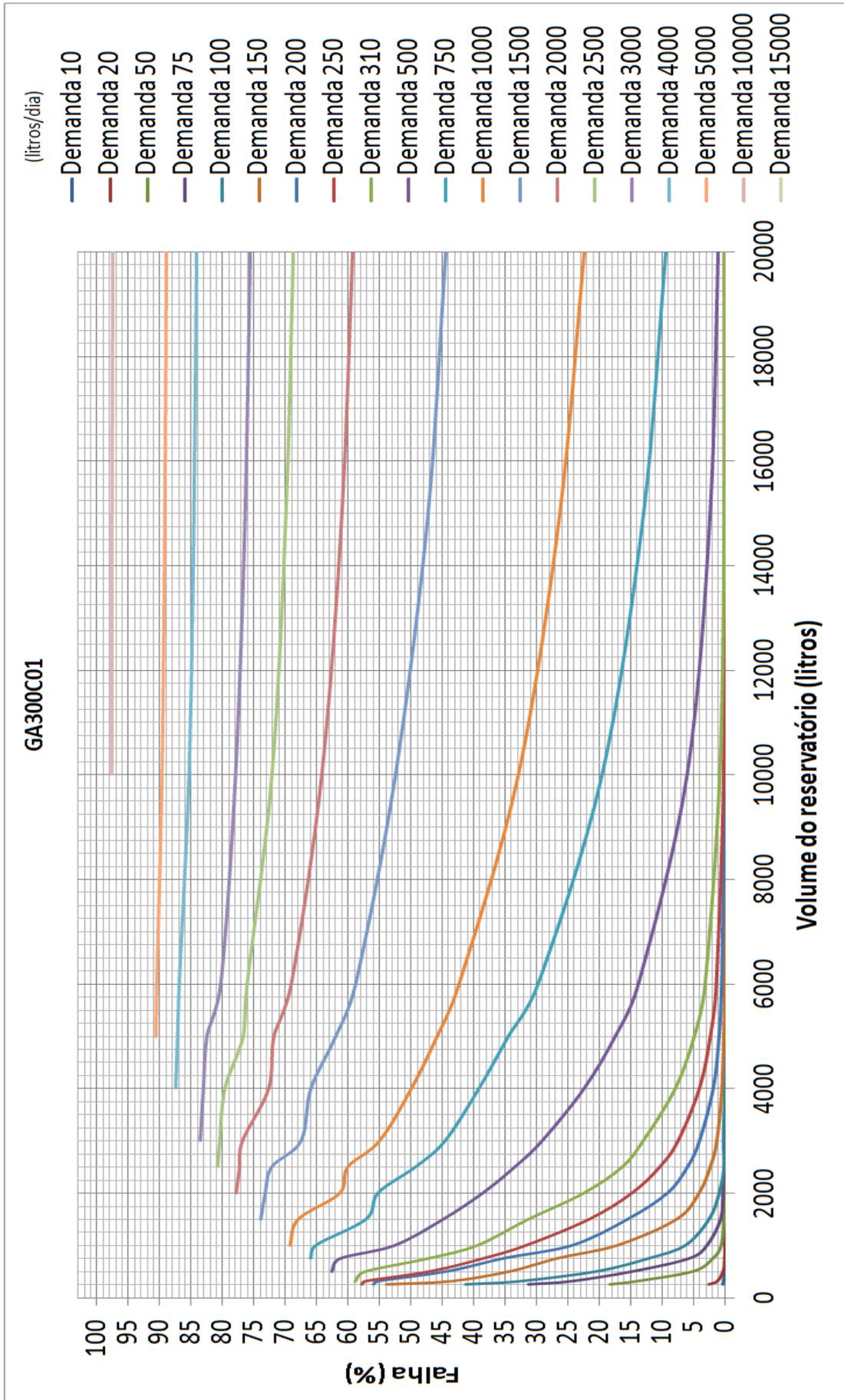
ÁREA 250		DEMANDA	FALHA	ÁREA 250		DEMANDA	FALHA	ÁREA 250		DEMANDA	FALHA	ÁREA 250		DEMANDA	FALHA		
		10	0,26982			20	2,55962			50	18,6465			75	31,9332	100	41,7487
VOLUME	250	10	0,26982	20	2,55962	50	18,6465	75	31,9332	100	41,7487	150	54,5103	200	56,7637	250	88,7917
		10	0	20	0	50	0,67819	75	3,10654	100	6,78918	150	18,0778	200	25,6107	250	33,0781
		10	0	20	0	50	0,21877	75	0,78757	100	2,80755	150	8,47371	200	16,6703	250	23,0076
		10	0	20	0	50	0,03646	75	0,35003	100	1,06468	150	4,73274	200	9,99052	250	16,2474
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
VOLUME	1000	10	0	20	0	50	0,21877	75	0,78757	100	2,80755	150	8,47371	200	16,6703	250	23,0076
		10	0	20	0	50	0,03646	75	0,35003	100	1,06468	150	4,73274	200	9,99052	250	16,2474
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
VOLUME	3000	10	0	20	0	50	0,03646	75	0,2844	100	0,8441	150	2,55962	200	5,11924	250	7,69386
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
VOLUME	10000	10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000
		10	0	20	0	50	0,00000	75	0,00000	100	0,00000	150	0,00000	200	0,00000	250	0,00000



APÊNDICE F – TA300C01 e GA300C01
(elaborado pelo autor)

C = 0,1

ÁREA 300		DEMANDA	FALHA	ÁREA 300		DEMANDA	FALHA	ÁREA 300		DEMANDA	FALHA	ÁREA 300		DEMANDA	FALHA				
		VOLUME	10			0,25523	VOLUME			10	0,16772			VOLUME	10	0	VOLUME	10	0
VOLUME	250	20	2,50857	310	50	20	1,21782	500	75	20	0,2844	750	100	20	0,06563				
		50	18,2455			50	13,9867			50	5,00984			50	1,9106				
		75	31,379			75	24,5242			75	14,6285			75	5,61511				
		100	41,2382			100	32,626			100	20,3238			100	12,047				
		150	53,9269			150	43,6155			150	34,2011			150	26,639				
		200	55,998			200	55,3708			200	44,2281			200	35,171				
		250	57,719			250	57,2158			250	46,7731			250	38,3067				
	1000	310	39,4443	1500	310	31,3061	2000	310	22,4531	2500	310	16,3349	5000	310	13,8409				
		500	52,6362		500	44,9063		500	38,613		500	33,5011		500	29,7893	5000	90,4616		
		750	65,0842		750	57,1137		750	55,2323		750	49,2379		750	42,3175	6000	92,6785		
		1000	69,2263		1000	67,921		1000	61,2922		1000	60,0233		1000	60,0233	15000	99,3802		
		10	0		20	0		50	0,03646		100	0,03646		100	0	500	0,14585	10000	97,6373
		20	0		50	0,26982		200	0,88967		500	17,5162		1000	45,796	15000	99,8104		
		50	0,61256		75	0,70736		100	0,92613		150	4,12747		200	9,08627	2000	69,1023		
75	2,87319	100	2,52315	250	14,716	310	22,4531	500	62,0506	2500	76,1176								
100	6,27871	150	7,65697	500	38,613	750	55,2323	1000	61,2922	3000	80,3034								
150	17,0787	200	15,4233	1000	61,2922	1500	73,2808	1500	73,2808	4000	86,9248								
200	24,2325	250	21,476	1500	73,2808	2000	77,8313	2000	77,8313	5000	90,4616								
250	31,5102	310	31,3061	2000	77,8313			2500	80,8138	6000	92,6785								
310	39,4443	500	44,9063					3000	83,3135										
500	52,6362	750	57,1137					4000	88,974										
750	65,0842	1000	67,921					5000	97,5644										
1000	69,2263	1500	74,0028					15000	99,8104										



APÊNDICE G – TA500C01 e GA500C01
(elaborado pelo autor)

C=0,1

		DEMANDA	FALHA
VOLUME	250	10	0,25523
		20	2,43565
		50	17,5527
		75	30,431
		100	40,0642
		150	52,6872
	200	53,6571	
	250	55,0645	
ÁREA 500			
VOLUME	1000	10	0
		20	0
		50	0,51046
		75	2,3846
		100	5,25049
		150	15,1316
		200	21,1478
		250	27,8495
		310	35,6815
		500	48,1149
		750	60,8474
1000	64,1946		

		DEMANDA	FALHA
VOLUME	310	10	0,16772
		20	1,18136
		50	13,3154
		75	23,4741
		100	31,0144
		150	41,3768
	200	53,256	
	250	54,6926	
	310	55,8084	
ÁREA 500			
VOLUME	1500	10	0
		20	0
		50	0,1896
		75	0,51776
		100	2,01998
		150	6,02348
		200	12,6668
		250	17,9684
		310	27,7401
		500	39,7944
		750	51,484
1000	62,8236		
1500	67,9647		

		DEMANDA	FALHA
VOLUME	500	10	0
		20	0,26982
		50	4,50667
		75	13,6513
		100	18,6465
		150	31,9332
	200	41,7487	
	250	43,652	
	310	54,5832	
	500	58,8857	
ÁREA 500			
VOLUME	2000	10	0
		20	0
		50	0,03646
		75	0,27711
		100	0,67819
		150	3,10654
		200	6,78918
		250	11,5438
		310	18,5153
		500	33,0781
		750	49,7411
1000	54,6124		
1500	67,2063		
2000	71,2098		

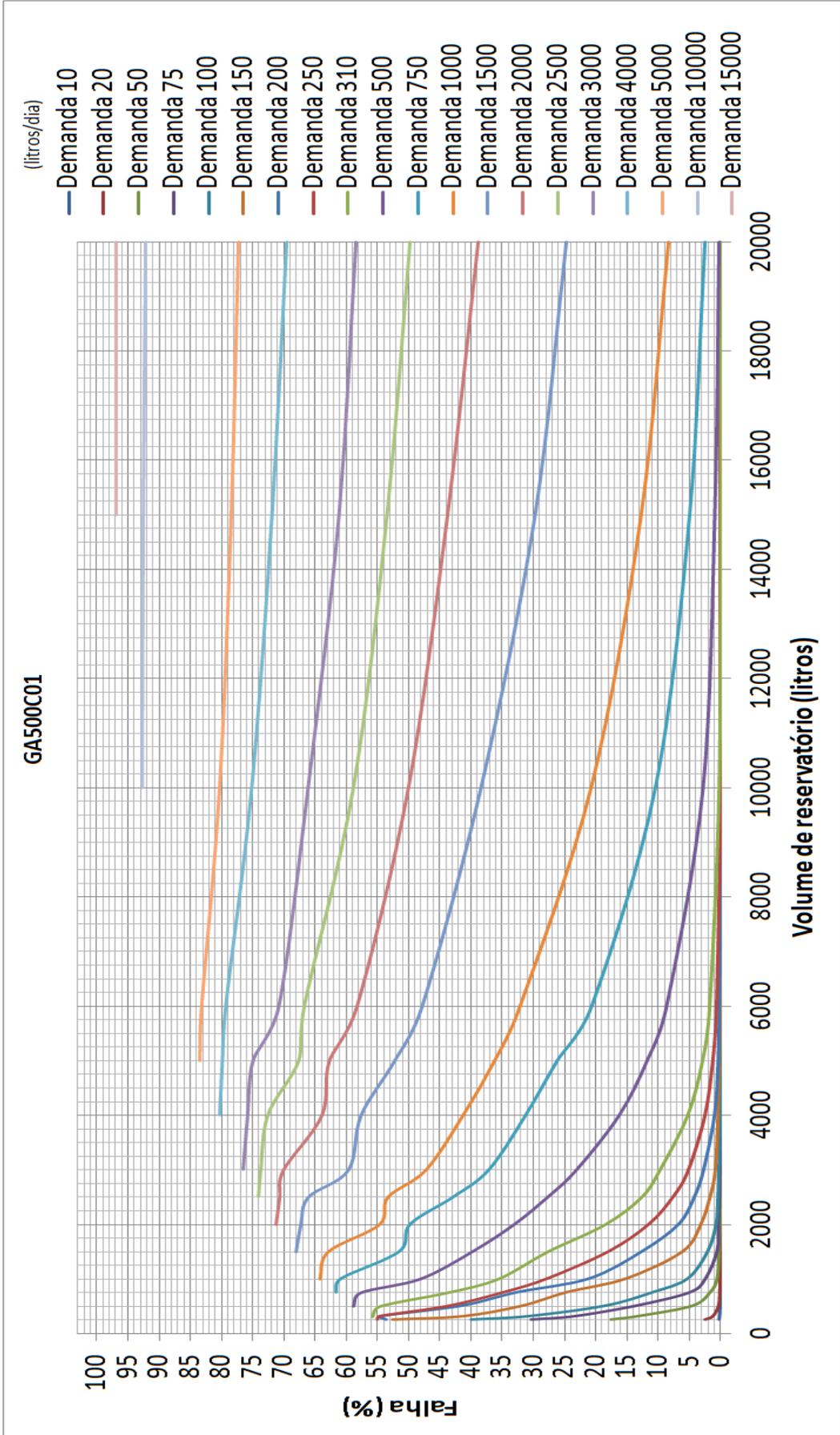
		DEMANDA	FALHA
VOLUME	750	10	0
		20	0,06563
		50	1,6189
		75	4,84212
		100	10,8729
		150	24,6992
	200	32,7135	
	250	34,8356	
	310	43,776	
	500	57,6314	
	750	61,6131	
ÁREA 500			
VOLUME	2500	10	0
		20	0
		50	0
		75	0,12397
		100	0,36462
		150	1,63349
		200	4,2879
		250	7,65677
		310	12,7179
		500	27,7109
		750	42,8134
1000	53,2633		
1500	65,9958		
2000	70,641		
2500	74,0028		

		DEMANDA	FALHA
VOLUME	3000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0,03646
		100	0,21877
		150	0,78757
		200	2,80755
		250	5,19215
		310	9,77904
		500	23,0876
		750	37,1326
		1000	47,1669
		1500	59,5785
		2000	70,0284
2500	73,6309		
3000	76,4676		
ÁREA 500			
VOLUME	10000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0
		150	0
		200	0
		250	0,04375
		310	0,32086
		500	2,79297
		750	10,5083
		1000	20,6957
		1500	38,3869
		2000	50,0328
		2500	58,893
		3000	66,0687
		4000	75,2133
		5000	80,3034
		10000	92,6785

		DEMANDA	FALHA
VOLUME	4000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0,03646
		150	0,35003
		200	1,06468
		250	2,55962
		310	5,35285
		500	16,2474
		750	31,2696
		1000	41,2237
		1500	57,5658
		2000	63,881
2500	72,5005		
3000	75,7602		
4000	80,3107		
ÁREA 500			
VOLUME	15000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0
		150	0
		200	0
		250	0
		310	0
		500	0,90425
		750	5,03172
		1000	12,6668
		1500	29,7236
		2000	43,7687
		2500	53,5331
		3000	61,1172
		4000	71,9755
		5000	78,3928
		10000	92,5035
15000	96,8716		

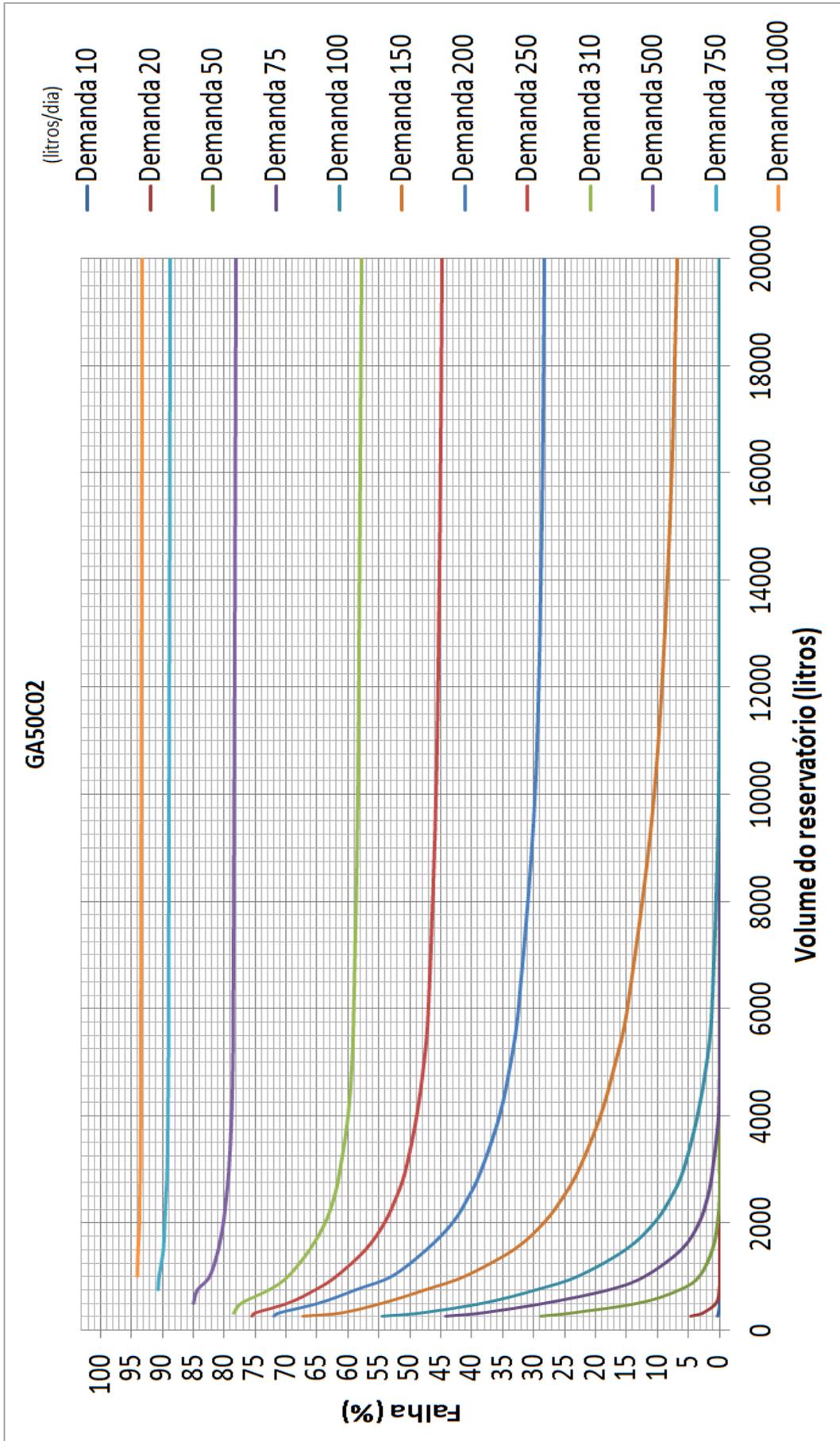
		DEMANDA	FALHA
VOLUME	5000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0
		150	0,15314
		200	0,4813
		250	1,31263
		310	2,96799
		500	11,7699
		750	26,1941
		1000	36,1701
		1500	52,1841
		2000	62,6923
2500	67,5709		
3000	74,8779		
4000	79,8877		
5000	83,5558		
ÁREA 500			
VOLUME	20000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0
		150	0
		200	0
		250	0
		310	0
		500	0,21877
		750	2,5742
		1000	8,26953
		1500	24,7211
		2000	38,8682
		2500	49,8724
		3000	58,3898
		4000	69,6347
		5000	77,2041
		10000	92,1461
15000	96,8497		
20000	98,6655		

		DEMANDA	FALHA
VOLUME	6000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0
		150	0,03646
		200	0,2844
		250	0,70736
		310	1,8158
		500	8,63443
		750	20,6884
		1000	32,0863
		1500	47,7868
		2000	58,2586
2500	66,6958		
3000	70,7431		
4000	79,3481		
5000	83,2422		
6000	85,8455		
ÁREA 500			



APÊNDICE H – TA50C02 e GA50C02
(elaborado pelo autor)

				C = 0,2								
ÁREA 50	VOLUME 250	DEMANDA	FALHA	VOLUME 310	DEMANDA	FALHA	VOLUME 500	DEMANDA	FALHA	VOLUME 750	DEMANDA	FALHA
		10	0,3792		10	0,20419		10	0		10	0
		20	4,54313		20	2,63983		20	0,54693		20	0,0948
		50	28,8194		50	23,8022		50	12,7762		50	6,28601
		75	44,2135		75	38,4234		75	27,7984		75	17,6402
		100	54,3936		100	48,166		100	37,8108		100	29,3371
		150	67,323		150	61,1609		150	54,2697		150	47,3711
	200	71,9828	200	71,1806	200	64,5154	200	58,5649				
	250	75,5998	250	75,0675	250	69,5836	250	65,1717				
	310		310	78,4146	310	77,1312	310	72,661				
	500		500		500	84,9705	500	84,3506				
	750		750		750		750	90,6804				
	1000		1000		1000		1000					
	1500		1500		1500		1500					
2000		2000		2000		2000						
2500		2500		2500		2500						
3000		3000		3000		3000						
4000		4000		4000		4000						
5000		5000		5000		5000						
6000		6000		6000		6000						
7500		7500		7500		7500						
10000		10000		10000		10000						
15000		15000		15000		15000						
20000		20000		20000		20000						



APÊNDICE I – TA100C02 e GA100C02
(elaborado pelo autor)

C = 0,2

ÁREA 100	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	250	10	0,29899
		20	3,3326
		50	23,1386
		75	37,7015
		100	47,8597
		150	60,7161
		200	64,3112
	250	67,3959	
	1000	10	0
		20	0
		50	1,53869
		75	6,12557
		100	12,7762
		150	27,7984
		200	37,8108
		250	46,42
		310	55,1375
		500	69,5836
		750	80,3982
	1000	84,9705	

ÁREA 100	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	310	10	0,16772
		20	1,75016
		50	18,3767
		75	31,379
		100	40,5163
		150	52,5414
		200	63,4653
	250	66,7542	
	310	70	
	1500	10	0
		20	0
		50	0,3792
		75	2,29709
		100	6,28601
		150	17,6402
		200	29,3371
		250	38,4963
		310	48,5525
		500	65,1714
		750	76,9708
	1000	84,3506	
	1500	90,6804	

ÁREA 100	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	500	10	0
		20	0,3792
		50	8,28306
		75	20,3238
		100	28,8194
		150	44,2136
		200	54,3936
	250	58,7545	
	310	69,8991	
	500	75,5998	
	2000	10	0
		20	0
		50	0,65631
		75	0,94801
		100	3,2378
		150	12,0105
		200	22,7448
		250	32,4947
		310	42,4561
		500	61,8318
		750	75,9425
	1000	82,4109	
	1500	90,5054	
	2000	94,0276	

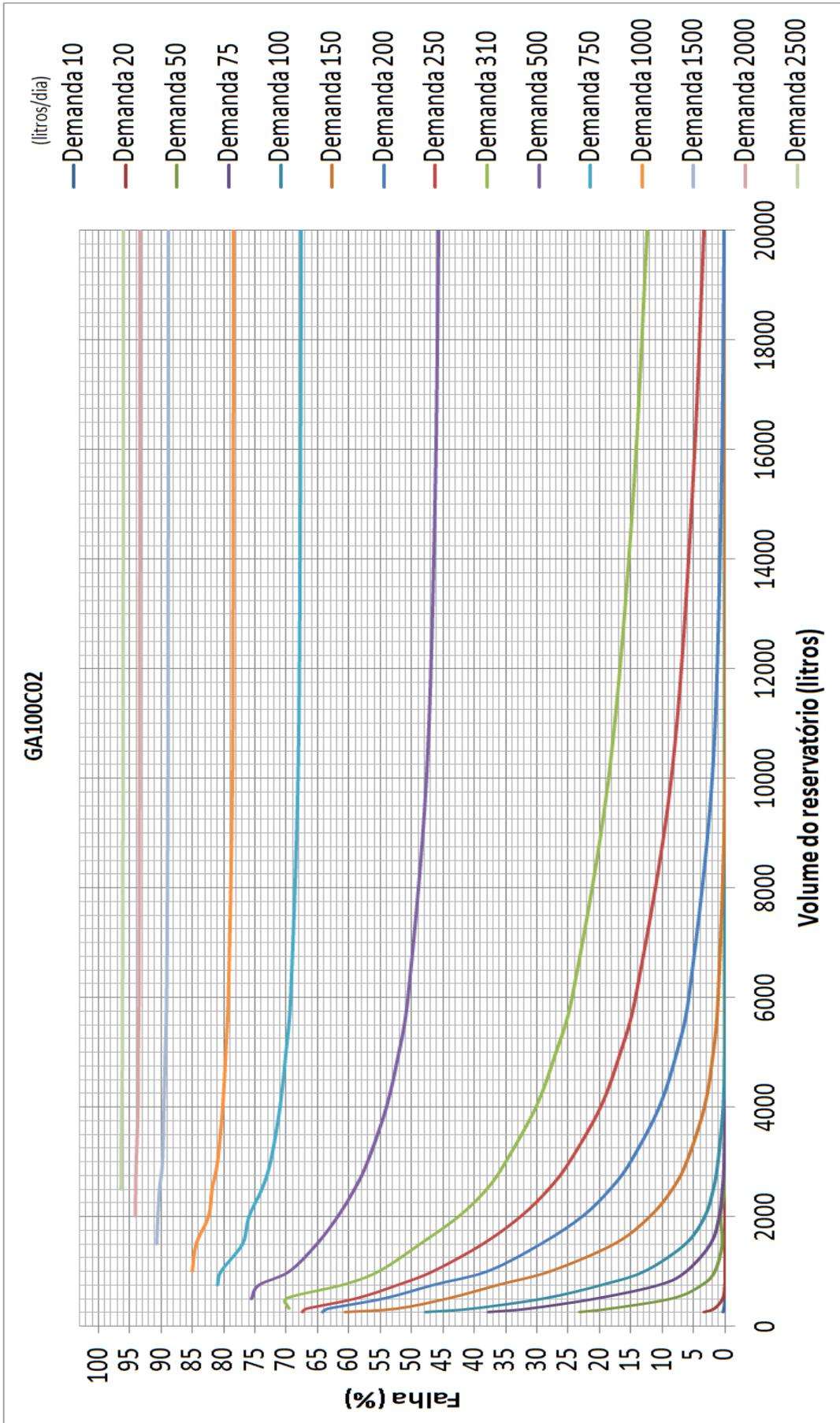
ÁREA 100	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	750	10	0
		20	0,06563
		50	3,55867
		75	10,3624
		100	19,5507
		150	36,1482
		200	46,4158
	250	52,0309	
	310	60,8109	
	500	74,4549	
	750	80,9596	
	2500	10	0
		20	0
		50	0
		75	0,43754
		100	1,88872
		150	8,43725
		200	18,2965
		250	28,0464
		310	38,0077
		500	59,1628
		750	73,8715
	1000	81,8639	
	1500	90,2501	
	2000	93,9838	
	2500	96,3538	

ÁREA 100	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	3000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0,15314
		100	1,15219
		150	6,16933
		200	15,0515
		250	24,7211
		310	35,0033
		500	57,0723
		750	72,5005
		1000	81,0107
		1500	89,7907
	2000	93,9036	
	2500	96,3392	
	3000	97,7248	
	10000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0
		150	0,02188
		200	2,04915
		250	8,50288
		310	18,647
		500	47,6409
		750	68,103
		1000	78,6699
		1500	88,9448
		2000	93,4515
		2500	96,1205
		3000	97,6446
		4000	99,0957
	5000	99,5698	
	10000	99,9635	

ÁREA 100	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	4000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0,32816
		150	3,3399
		200	10,4791
		250	19,7623
		310	30,1976
		500	54,0436
		750	70,9692
		1000	80,2013
		1500	89,5719
	2000	93,6629	
	2500	96,2882	
	3000	97,7102	
	4000	99,1103	
	15000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0
		150	0
		200	0,62714
		250	5,22862
		310	14,796
		500	46,2777
		750	67,731
		1000	78,5459
		1500	88,8865
		2000	93,415
		2500	96,0913
		3000	97,6154
		4000	99,0812
	5000	99,5552	
	10000	99,9635	
	15000	99,9781	

ÁREA 100	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	5000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0,00729
		150	1,93247
		200	7,68614
		250	16,5974
		310	27,0036
		500	52,0455
		750	70,0284
		1000	79,7127
		1500	89,3386
	2000	93,6411	
	2500	96,1788	
	3000	97,7102	
	4000	99,1103	
	5000	99,5843	
	20000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0
		150	0
		200	0,13856
		250	3,28885
		310	12,499
		500	45,6939
		750	67,586
		1000	78,473
		1500	88,8427
		2000	93,3785
		2500	96,0621
		3000	97,5935
		4000	99,052
	5000	99,5406	
	10000	99,949	
	15000	99,9781	
	20000	99,9854	

ÁREA 100	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	6000	10	0
		20	0
		50	0
		75	0
		100	0
		150	1,16678
		200	5,79013
		250	14,2201
		310	24,4585
		500	50,5943
		750	69,27
		1000	79,3116
		1500	89,1344
	2000	93,539	
	2500	96,1788	
	3000	97,6592	
	4000	99,1103	
	5000	99,5843	
	6000	99,8177	



APÊNDICE J – TA150C02 e GA150C02
(elaborado pelo autor)

C=0,2

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
		10	0,29169
	20	2,97528	
	50	20,9218	
	75	35,0252	
	100	45,0011	
	150	57,8502	
	200	61,037	
	250	63,407	
	1000	79,4283	

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
		10	0
	20	0	
	50	0,99176	
	75	4,51397	
	100	9,64778	
	150	22,9344	
	200	31,8895	
	250	40,1444	
	310	48,3702	
	500	62,8819	
	750	74,8633	
	1000	79,4283	

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
		10	0,16772
	20	1,48035	
	50	16,2401	
	75	28,36	
	100	37,1837	
	150	48,7785	
	200	60,1254	
	250	62,809	
	310	65,3103	

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
		10	0
	20	0	
	50	0,03646	
	75	0,56151	
	100	2,04915	
	150	7,8174	
	200	15,839	
	250	24,3565	
	310	33,5084	
	500	52,2351	
	750	68,0158	
	1000	74,8487	
	1500	84,5694	
	2000	88,9667	

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
		10	0
	20	0,06563	
	50	2,69088	
	75	8,23306	
	100	16,2255	
	150	31,9624	
	200	41,6758	
	250	46,2408	
	310	55,0208	
	500	69,1679	
	750	75,5998	

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
		10	0
	20	0	
	50	0	
	75	0,24794	
	100	1,00634	
	150	4,98797	
	200	11,6969	
	250	19,4268	
	310	28,061	
	500	48,392	
	750	64,5373	
	1000	73,9955	
	1500	84,0954	
	2000	88,7771	
	2500	91,9274	

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
		10	0
	20	0	
	50	0	
	75	0,06563	
	100	0,54693	
	150	3,20134	
	200	8,59768	
	250	15,6275	
	310	24,3929	
	500	45,2636	
	750	61,8318	
	1000	71,6619	
	1500	82,4036	
	2000	88,5656	
	2500	91,8544	
	3000	94,0276	

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
		10	0
	20	0	
	50	0	
	75	0,11668	
	100	0,58973	
	150	1,58973	
	200	5,0463	
	250	10,4645	
	310	18,508	
	500	40,4069	
	750	58,667	
	1000	69,4232	
	1500	81,6889	
	2000	87,6905	
	2500	91,694	
	3000	93,9692	
	4000	96,8158	

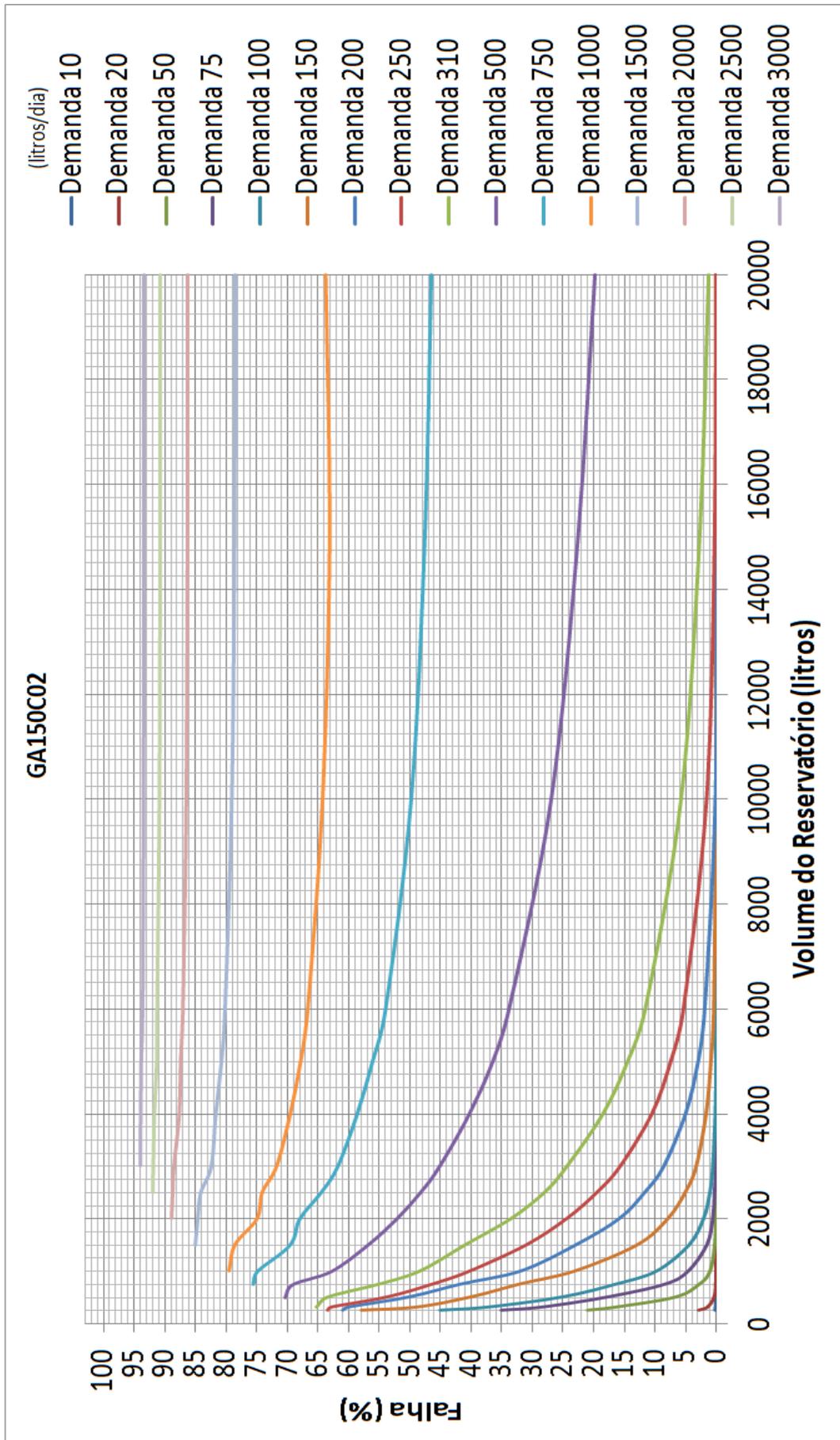
ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
		10	0
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0,80216	
	200	2,98986	
	250	7,39444	
	310	14,5045	
	500	36,5857	
	750	56,173	
	1000	67,7386	
	1500	80,7701	
	2000	87,4499	
	2500	91,3002	
	3000	93,8817	
	4000	96,8497	
	5000	98,3446	

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
		10	0
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0,32816	
	200	1,92518	
	250	5,32342	
	310	11,6313	
	500	33,9313	
	750	54,0436	
	1000	66,5792	
	1500	80,194	
	2000	87,0852	
	2500	91,2492	
	3000	93,6629	
	4000	96,8278	
	5000	98,3373	
	6000	99,1103	

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
		10	0
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0	
	200	0,16772	
	250	1,55327	
	310	5,7974	
	500	27,0327	
	750	49,88	
	1000	64,1654	
	1500	79,1293	
	2000	86,5382	
	2500	90,8994	
	3000	93,5098	
	4000	96,7257	
	5000	98,2936	
	10000	99,8687	

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
		10	0
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0	
	200	0	
	250	0,24065	
	310	2,7565	
	500	22,6573	
	750	47,648	
	1000	63,0059	
	1500	78,6626	
	2000	86,3341	
	2500	90,7898	
	3000	93,4515	
	4000	96,7039	
	5000	98,279	
	10000	99,8687	
	15000	99,9635	

ÁREA 150	VOLUME	DEMANDA	FALHA
		10	0
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0	
	200	0	
	250	0	
	310	1,2762	
	500	19,8862	
	750	46,591	
	1000	63,6486	
	1500	78,5751	
	2000	86,2831	
	2500	90,7606	
	3000	93,4296	
	4000	96,6747	
	5000	98,2644	
	10000	99,8542	
	15000	99,9635	
	20000	99,9781	



APÊNDICE K – TA200C02 e GA200C02
(elaborado pelo autor)

C=0,2

ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0,2844	
	20	2,72734	
	50	19,8498	
	75	33,3552	
	100	43,4697	
	150	56,224	
	200	58,9659	
	250	61,1245	

ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0,16772	
	20	1,31262	
	50	15,1681	
	75	26,7556	
	100	35,3679	
	150	46,6929	
	200	58,2003	
	250	60,5119	
	310	62,8892	

ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0	
	20	0,29899	
	50	5,92868	
	75	16,2765	
	100	23,1386	
	150	37,7015	
	200	47,8597	
	250	50,8714	
	310	61,1755	
	500	67,3959	

ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0	
	20	0,06563	
	50	2,34084	
	75	6,99336	
	100	14,4753	
	150	29,6288	
	200	38,9848	
	250	42,9519	
	310	52,0236	
	500	65,8791	
	750	71,7494	

ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0	
	20	0	
	50	0,83133	
	75	3,77015	
	100	8,23306	
	150	20,3238	
	200	28,8194	
	250	36,4763	
	310	44,9209	
	500	58,7545	
	750	71,0494	
	1000	75,5998	

ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0	
	20	0	
	50	0,25523	
	75	1,09385	
	100	3,55867	
	150	10,3624	
	200	19,5508	
	250	26,7483	
	310	36,9649	
	500	52,0309	
	750	64,6394	
	1000	74,4549	
	1500	80,9597	

ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0	
	20	0	
	50	0,03646	
	75	0,39379	
	100	1,53869	
	150	6,12557	
	200	12,7762	
	250	19,9373	
	310	28,7975	
	500	46,62	
	750	62,9257	
	1000	69,5836	
	1500	80,3982	
	2000	84,9705	

ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0,18231	
	100	0,72194	
	150	3,75556	
	200	8,91854	
	250	15,1098	
	310	23,0001	
	500	42,2373	
	750	58,5284	
	1000	68,5262	
	1500	79,72	
	2000	84,6861	
	2500	88,201	

ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0,03646	
	100	0,3792	
	150	2,29709	
	200	6,28601	
	250	11,5875	
	310	19,2008	
	500	38,4963	
	750	54,7728	
	1000	65,1717	
	1500	76,9708	
	2000	84,3506	
	2500	88,0041	
	3000	90,6804	

ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0,06563	
	150	0,94801	
	200	3,2378	
	250	6,97149	
	310	13,1554	
	500	32,4947	
	750	50,7183	
	1000	61,8318	
	1500	75,9425	
	2000	82,4109	
	2500	87,6176	
	3000	90,5054	
	4000	94,0276	

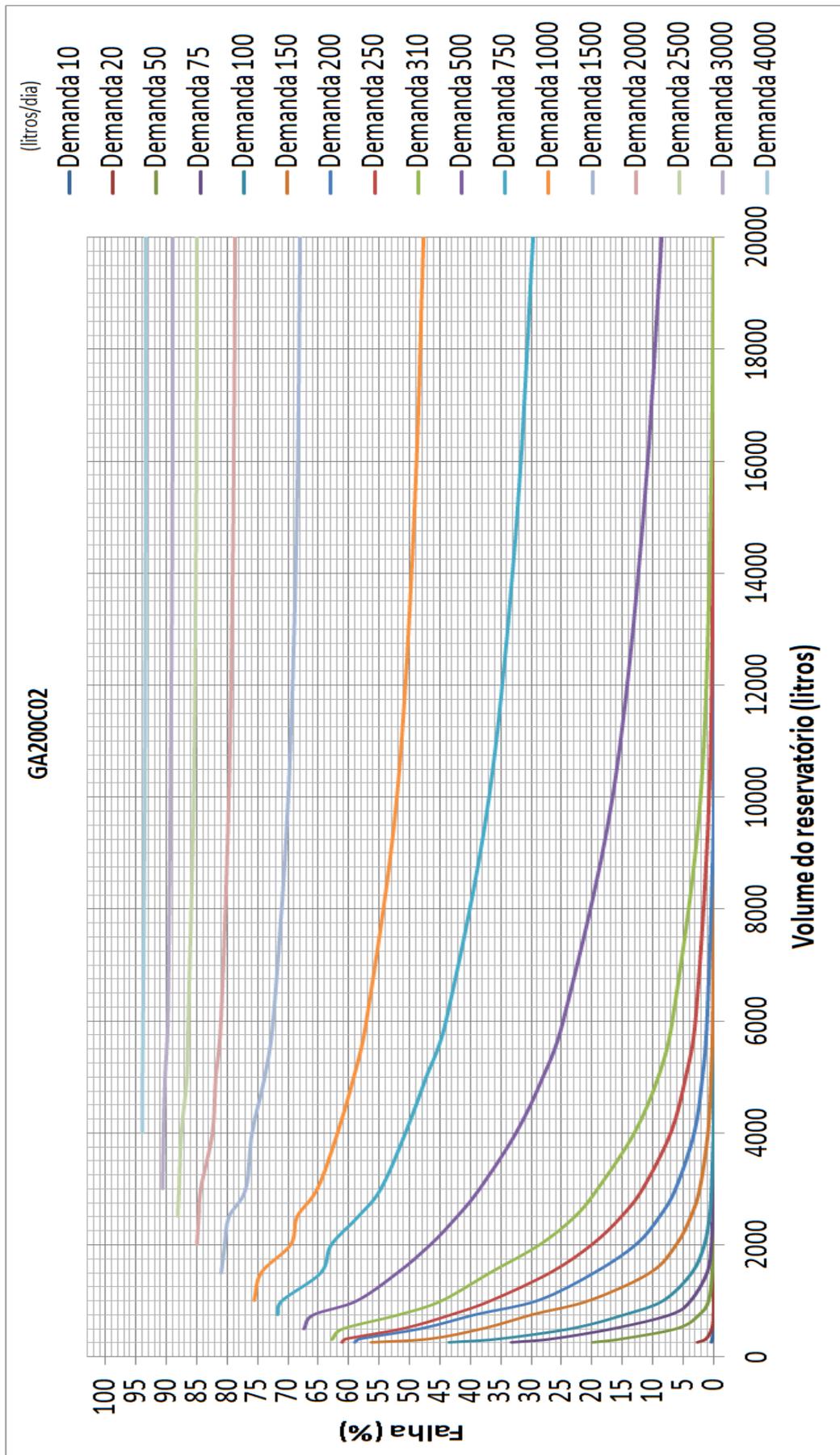
ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0,43754	
	200	1,88872	
	250	4,52855	
	310	9,21753	
	500	28,0464	
	750	47,2982	
	1000	59,1628	
	1500	73,8715	
	2000	81,8639	
	2500	86,6696	
	3000	90,2501	
	4000	93,9838	
	5000	96,3538	

ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0,15314	
	200	1,15219	
	250	2,93153	
	310	6,89127	
	500	24,7211	
	750	44,0458	
	1000	57,0772	
	1500	72,5005	
	2000	81,0107	
	2500	86,4581	
	3000	89,7907	
	4000	93,9036	
	5000	96,3392	
	6000	97,7248	

ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0	
	200	0	
	250	0,6636	
	310	2,25336	
	500	16,5974	
	750	36,9649	
	1000	52,0455	
	1500	70,0284	
	2000	79,7127	
	2500	85,5466	
	3000	89,3386	
	4000	93,6411	
	5000	96,1788	
	10000	99,5843	

ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0	
	200	0	
	250	0	
	310	0,59797	
	500	11,5365	
	750	32,378	
	1000	49,1796	
	1500	68,6283	
	2000	78,9762	
	2500	85,1236	
	3000	89,0177	
	4000	93,4955	
	5000	96,1423	
	10000	99,5843	
	15000	99,9125	

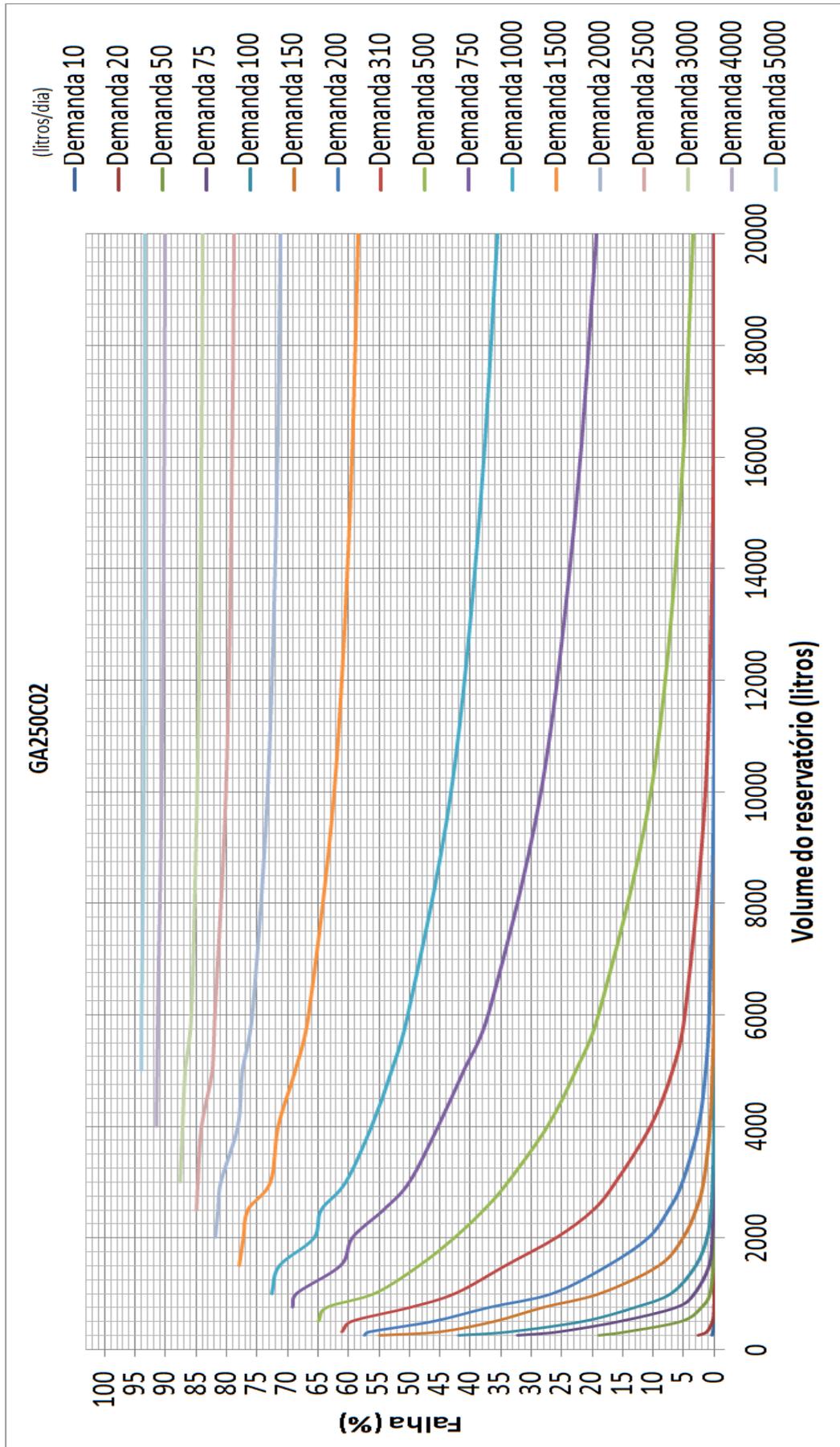
ÁREA 200	VOLUME	DEMANDA	FALHA
	10	0	
	20	0	
	50	0	
	75	0	
	100	0	
	150	0	
	200	0	
	250	0	
	310	0,05834	
	500	8,50288	
	750	29,7236	
	1000	47,6409	
	1500	68,1033	
	2000	78,6699	
	2500	84,9923	
	3000	88,9448	
	4000	93,4515	
	5000	96,1205	
	10000	99,5698	
	15000	99,9125	
	20000	99,9635	



APÊNDICE L– TA250C02 e GA250C02
(elaborado pelo autor)

C=0,2

ÁREA 250		VOLUME	DEMANDA	FALHA	ÁREA 250		VOLUME	DEMANDA	FALHA	ÁREA 250		VOLUME	DEMANDA	FALHA					
			10	0,27711				10	0,16772				10	0	10	0			
ÁREA 250		250	20	2,61954	ÁREA 250		310	20	1,26158	ÁREA 250		500	20	0,29899	ÁREA 250		750	20	0,06563
			50	18,807				50	14,4753				50	5,38905				50	2,12207
			75	32,2905				75	25,691				75	15,4744				75	6,2933
			100	41,9748				100	33,8292				100	21,4906				100	13,0533
			150	54,9697				150	45,198				150	36,068				150	28,1412
			200	57,3398				200	56,6543				200	46,0293				200	36,892
ÁREA 250		1000	250	59,491	ÁREA 250		1500	250	58,9587	ÁREA 250		2000	250	48,9463	ÁREA 250		2500	250	40,757
			310	61,0224				310	61,0224				310	59,367				310	49,7265
			500	64,9748				500	64,9748				500	64,9748				500	63,5471
			750	69,2263				750	69,2263				750	69,2263				750	69,2263
			1000	72,5151				1000	72,5151				1000	72,5151				1000	72,5151
			1500	77,8604				1500	77,8604				1500	77,8604				1500	77,8604
ÁREA 250		3000	10	0	ÁREA 250		4000	10	0	ÁREA 250		5000	10	0	ÁREA 250		6000	10	0
			20	0				20	0				20	0				20	0
			50	0				50	0				50	0				50	0
			75	0,03646				75	0				75	0				75	0
			100	0,29899				100	0,05105				100	0				100	0
			150	1,78663				150	0,71465				150	0,32086				150	0,08751
			200	5,13382				200	2,50857				200	1,32721				200	0,75111
			250	9,45818				250	5,38176				250	3,20134				250	2,07832
			310	16,1088				310	10,3916				310	6,79471				310	4,79107
			500	33,8657				500	27,3901				500	22,7521				500	19,0476
			750	50,0036				750	45,2709				750	41,0705				750	37,0816
			1000	60,4025				1000	56,1584				1000	52,8622				1000	50,2005
			1500	72,7558				1500	71,5015				1500	68,7085				1500	66,5427
			2000	81,0033				2000	78,1959				2000	77,4476				2000	75,8113
2500	84,744	2500	84,1683	2500	82,4036	2500	81,9806												
3000	87,5884	3000	87,2092	3000	86,8008	3000	85,8018												
ÁREA 250		10000	10	0	ÁREA 250		15000	10	0	ÁREA 250		20000	10	0	ÁREA 250		25000	10	0
			20	0				20	0				20	0				20	0
			50	0				50	0				50	0				50	0
			75	0				75	0				75	0				75	0
			100	0				100	0				100	0				100	0
			150	0				150	0				150	0				150	0
			200	0				200	0				200	0				200	0
			250	0,32086				250	0				250	0				250	0
			310	1,40742				310	0,16043				310	0				310	0
			500	10,4499				500	5,76825				500	3,53679				500	3,53679
			750	28,3964				750	22,7448				750	19,2664				750	19,2664
			1000	43,0978				1000	38,4015				1000	35,4846				1000	35,4846
			1500	62,3569				1500	59,79				1500	58,4263				1500	58,4263
			2000	73,2735				2000	71,8297				2000	71,1442				2000	71,1442
2500	80,194	2500	79,3043	2500	78,8668	2500	78,8668												
3000	84,8757	3000	84,2485	3000	83,9641	3000	83,9641												
4000	90,6366	4000	90,2866	4000	90,1043	4000	90,1043												
5000	93,6629	5000	93,539	5000	93,4733	5000	93,4733												
10000	99,1103	10000	99,1103	10000	99,0957	10000	99,0957												
ÁREA 250		20000	15000	99,8177	ÁREA 250		20000	15000	99,8177	ÁREA 250		20000	15000	99,8177	ÁREA 250		20000	15000	99,8177
			20000	99,9344				20000	99,9344				20000	99,9344				20000	99,9344



APÊNDICE M – TA300C02 e GA300C02
(elaborado pelo autor)

C=0,2

ÁREA 300		DEMANDA		FALHA
VOLUME	250	10	0,26253	
		20	2,54503	
		50	18,5882	
		75	31,8822	
		100	41,6539	
		150	54,4009	
		200	56,5957	
	250	58,3388		
	1000	10	0	
		20	0	
		50	0,65631	
		75	3,02633	
		100	6,59229	
		150	17,7423	
200		25,1586		
250	32,4291			
310	40,5309			
500	53,7811			
750	66,4917			
1000	70,4368			

ÁREA 300		DEMANDA		FALHA
VOLUME	310	10	0,16772	
		20	1,22512	
		50	14,1836	
		75	24,8961	
		100	33,0781	
		150	44,1916	
		200	55,7938	
	250	57,7263		
	310	59,6077		
	1500	10	0	
		20	0	
		50	0,21877	
		75	0,7657	
		100	2,69088	
150		8,23306		
200		16,2255		
250	22,424			
310	32,4072			
500	46,2408			
750	58,7545			
1000	69,1679			
1500	75,5998			

ÁREA 300		DEMANDA		FALHA
VOLUME	500	10	0	
		20	0,29169	
		50	5,19215	
		75	15,015	
		100	20,9218	
		150	35,0252	
		200	45,0011	
	250	47,5388		
	310	58,0179		
	500	63,407		
	2000	10	0	
		20	0	
		50	0,03646	
		75	0,35003	
100		0,99176		
150		4,51397		
200		9,64778		
250	15,6202			
310	23,6855			
500	40,1444			
750	56,7126			
1000	62,8819			
1500	74,8633			
2000	79,4283			

ÁREA 300		DEMANDA		FALHA
VOLUME	750	10	0	
		20	0,06563	
		50	1,9981	
		75	5,92868	
		100	12,4699	
		150	27,2296	
		200	35,8127	
	250	39,1672		
	310	48,2243		
	500	62,1308		
	750	67,3959		
	2500	10	0	
		20	0	
		50	0	
75		0,15314		
100		0,45213		
150		2,55962		
200		6,41727		
250	11,15			
310	17,5964			
500	35,1127			
750	51,0683			
1000	61,6349			
1500	73,8569			
2000	78,9689			
2500	82,6005			

ÁREA 300		DEMANDA		FALHA
VOLUME	3000	10	0	
		20	0	
		50	0	
		75	0,03646	
		100	0,27711	
		150	1,49493	
		200	4,37541	
		250	8,13097	
		310	14,1545	
		500	30,9123	
		750	46,62	
		1000	56,9678	
		1500	69,5836	
		2000	78,4511	
2500	82,2723			
3000	84,9632			

ÁREA 300		DEMANDA		FALHA
VOLUME	4000	10	0	
		20	0	
		50	0	
		75	0	
		100	0,03646	
		150	0,56151	
		200	2,04915	
		250	4,47021	
		310	8,70707	
		500	24,3565	
		750	41,4935	
		1000	52,2351	
		1500	68,0158	
		2000	74,8487	
2500	81,5722			
3000	84,5694			
4000	88,9667			

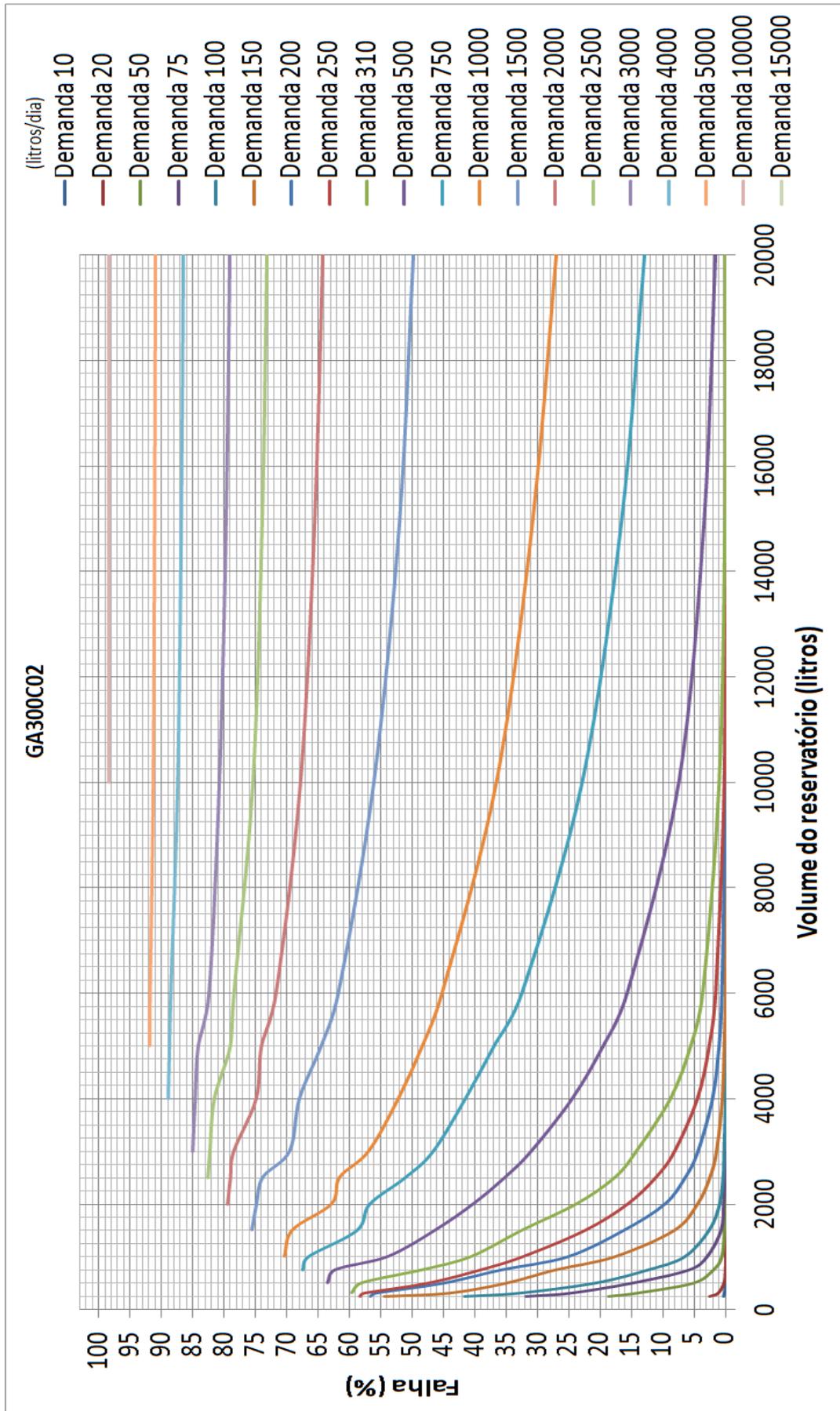
ÁREA 300		DEMANDA		FALHA
VOLUME	5000	10	0	
		20	0	
		50	0	
		75	0	
		100	0	
		150	0,24794	
		200	1,00634	
		250	2,58879	
		310	5,48385	
		500	19,4268	
		750	36,9285	
		1000	48,392	
		1500	64,5373	
		2000	73,9955	
2500	79,0418			
3000	84,0954			
4000	88,7771			
5000	91,9274			

ÁREA 300		DEMANDA		FALHA
VOLUME	6000	10	0	
		20	0	
		50	0	
		75	0	
		100	0	
		150	0,06563	
		200	0,54693	
		250	1,57515	
		310	3,58784	
		500	15,6275	
		750	32,5093	
		1000	45,2636	
		1500	61,8318	
		2000	71,6619	
2500	78,4584			
3000	82,4036			
4000	88,5656			
5000	91,8545			
6000	94,0277			

ÁREA 300		DEMANDA		FALHA
VOLUME	10000	10	0	
		20	0	
		50	0	
		75	0	
		100	0	
		150	0	
		200	0	
		250	0,18231	
		310	0,96359	
		500	7,39443	
		750	22,9126	
		1000	36,5857	
		1500	56,173	
		2000	67,7386	
2500	75,4539			
3000	80,7701			
4000	87,4499			
5000	91,3			
10000	98,3446			

ÁREA 300		DEMANDA		FALHA
VOLUME	15000	10	0	
		20	0	
		50	0	
		75	0	
		100	0	
		150	0	
		200	0	
		250	0	
		310	0,03646	
		500	3,3399	
		750	16,5974	
		1000	30,7591	
		1500	52,0455	
		2000	65,4416	
2500	73,9736			
3000	79,7054			
4000	86,8738			
5000	91,0449			
10000	98,3301			
15000	99,5843			

ÁREA 300		DEMANDA		FALHA
VOLUME	20000	10	0	
		20	0	
		50	0	
		75	0	
		100	0	
		150	0	
		200	0	
		250	0	
		310	0	
		500	1,55327	
		750	12,9731	
		1000	27,0327	
		1500	49,8797	
		2000	64,1654	
2500	73,2152			
3000	79,1293			
4000	86,5383			
5000	90,8991			
10000	98,2936			
15000	99,5843			
20000	99,8687			



APÊNDICE N – TA500C02 e GA500C02
(elaborado pelo autor)

C=0,2

ÁREA 500		VOLUME	DEMANDA	FALHA
250	ÁREA 500	VOLUME	10	0,25523
			20	2,44294
			50	17,6037
			75	30,6862
			100	40,1371
			150	52,8185
			200	53,8321
			250	55,6625
			10	0
			20	0
			50	0,51776
			75	2,50128
			100	5,38905
			150	15,4744
200	21,4906			
250	28,5933			
310	36,4863			
500	48,9463			
750	61,7735			
1000	64,9748			

ÁREA 500		VOLUME	DEMANDA	FALHA
310	ÁREA 500	VOLUME	10	0,16772
			20	1,18865
			50	13,3596
			75	23,6783
			100	31,131
			150	41,6758
			200	53,4019
			250	55,1739
			310	56,4865
			10	0
20	0			
50	0,1896			
75	0,55422			
100	2,12208			
150	6,2933			
200	13,0533			
250	18,6903			
310	28,4912			
500	40,7569			
750	52,6872			
1000	63,5747			
1500	69,2263			

ÁREA 500		VOLUME	DEMANDA	FALHA
500	ÁREA 500	VOLUME	10	0
			20	0,27711
			50	4,55772
			75	13,8409
			100	18,807
			150	32,2905
			200	41,9748
			250	44,3521
			310	55,1375
			500	59,491
			10	0
			20	0
			50	0,03646
			75	0,29169
100	0,72195			
150	3,26697			
200	7,10275			
250	12,2439			
310	19,3977			
500	34,1647			
750	50,8641			
1000	55,6917			
1500	68,5116			
2000	72,5151			

ÁREA 500		VOLUME	DEMANDA	FALHA
750	ÁREA 500	VOLUME	10	0
			20	0,06563
			50	1,66266
			75	5,02443
			100	11,099
			150	25,0565
			200	33,0344
			250	35,5502
			310	44,6802
			500	58,3461
			750	62,5902
			10	0
			20	0
			50	0
75	0,12397			
100	0,3792			
150	1,7137			
200	4,54313			
250	8,23306			
310	13,396			
500	28,8048			
750	44,2062			
1000	54,3718			
1500	67,323			
2000	71,9828			
2500	75,5925			

ÁREA 500		VOLUME	DEMANDA	FALHA
3000	ÁREA 500	VOLUME	10	0
			20	0
			50	0
			75	0,03646
			100	0,23335
			150	0,86779
			200	3,06279
			250	5,62969
			310	10,3551
			500	24,2325
			750	38,6859
			1000	48,392
			1500	61,3141
			2000	71,3046
2500	75,0893			
3000	77,8604			
10	0			
20	0			
50	0			
75	0,03646			
100	0,35733			
150	1,21782			
200	2,84402			
250	5,78283			
310	17,3704			
500	32,8958			
750	42,6311			
1000	59,3816			
1500	65,6166			
2000	74,1194			
2500	77,1822			
3000	81,9223			
4000	81,9223			

ÁREA 500		VOLUME	DEMANDA	FALHA
5000	ÁREA 500	VOLUME	10	0
			20	0
			50	0
			75	0
			100	0
			150	0,16043
			200	0,54696
			250	1,49493
			310	3,34719
			500	12,7689
			750	27,762
			1000	37,8035
			1500	54,2259
			2000	64,4352
2500	69,5763			
3000	76,4384			
4000	81,4701			
5000	84,9614			
10	0			
20	0			
50	0			
75	0,03646			
100	0,29899			
150	0,82404			
200	2,01998			
250	9,45818			
310	22,5623			
500	33,8657			
750	50,0036			
1000	60,4025			
1500	68,7523			
2000	72,7558			
2500	81,0034			
3000	84,744			
4000	87,5882			
5000	87,5882			
6000	87,5882			

ÁREA 500		VOLUME	DEMANDA	FALHA
10000	ÁREA 500	VOLUME	10	0
			20	0
			50	0
			75	0
			100	0
			150	0
			200	0
			250	0,05834
			310	0,37191
			500	3,20134
			750	12,015
			1000	22,7521
			1500	41,0705
			2000	52,8622
2500	61,8245			
3000	68,7085			
4000	77,4448			
5000	82,4036			
10000	94,0276			
10	0			
20	0			
50	0			
75	0			
100	0			
150	0			
200	0			
250	0			
310	0			
500	1,1449			
750	6,16933			
1000	14,9639			
1500	33,1729			
2000	47,2544			
2500	57,0699			
3000	64,4571			
4000	74,9289			
5000	81,0034			
10000	93,9036			
15000	97,7248			

ÁREA 500		VOLUME	DEMANDA	FALHA
20000	ÁREA 500	VOLUME	10	0
			20	0
			50	0
			75	0
			100	0
			150	0
			200	0
			250	0
			310	0
			500	0,32086
			750	3,3399
			1000	10,4499
			1500	28,3964
			2000	43,0978
2500	54,0363			
3000	62,3569			
4000	73,2735			
5000	80,194			
10000	93,6629			
15000	97,7102			
20000	99,1103			

