

**FACULDADE IETEC**

Hélio da Silva Mota

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA  
DAS CHUVAS NO ALTO VALE DO JEQUITINHONHA: UMA PROPOSTA PARA  
MITIGAÇÃO DO EFEITO DA ESCASSEZ DE ÁGUA NA REGIÃO**

Belo Horizonte

2017

Hélio da Silva Mota

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA  
DAS CHUVAS NO ALTO VALE DO JEQUITINHONHA: UMA PROPOSTA PARA  
MITIGAÇÃO DO EFEITO DA ESCASSEZ DE ÁGUA NA REGIÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado da Faculdade Ietec, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia e Gestão de Processos e Sistemas.

Área de concentração: Engenharia e Gestão de Processos e Sistemas

Linha de pesquisa: Engenharia de Processos e Sistemas

Orientador: Prof. José Helvécio Martins  
Coorientador: Prof. Rafael Pinheiro Amantéa  
Faculdade Ietec

Belo Horizonte

2017

M917a

Mota, Hélio da Silva.

Avaliação da capacidade de captação e armazenamento de água das chuvas no Alto Vale do Jequitinhonha: uma proposta para mitigação do efeito da escassez de água na região / Hélio da Silva Mota. - Belo Horizonte, 2017.  
69 f., enc.

Orientador: José Helvécio Martins.

Dissertação (mestrado) – Faculdade IETEC.

Bibliografia: f. 65-69

1. Água de chuvas. 2. Reuso de água. 3. Cisternas. 4. Escassez de água. I. Martins, José Helvécio. II. Faculdade IETEC. Mestrado em Engenharia e Gestão de Processos e Sistemas. III. Título.

CDU: 556.18

Hélio da Silva Mota. *Avaliação da Capacidade de Captação e Armazenamento de Água das Chuvas na Região do Alto Vale do Jequitinhonha: Uma Proposta para Mitigação do Efeito da Escassez de Água na Região.*

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia e Gestão de Processos e Sistemas da Faculdade Ietec, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia e Gestão de Processos e Sistemas.

Área de concentração: Engenharia e Gestão de Processos e Sistemas

Linha de Pesquisa: Engenharia de Processos e Sistemas.

Orientador: Prof. José Helvécio Martins

Coorientador: Prof. Rafael Pinheiro Amantéa

Faculdade Ietec

Aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Alan Kardek Rego Segundo – UFOP



Prof. Dr. Rafael Pinheiro Amantéa - IETEC



Profa. Dra. Wahyr Romero Ferreira - IETEC



Prof. Dr. José Helvécio Martins - Orientador – IETEC

Belo Horizonte, 15 de agosto de 2017.

*À Aline Araújo, minha esposa, com amor, admiração e gratidão, e às minhas filhas Ana Carolina e Ana Clara, pelo carinho, presença e apoio ao longo dos estudos.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que mesmo nos momentos de dificuldades, concedeu-me a inspiração para novos caminhos.

Aos colegas de turma, que apesar da distância, fizeram-se firmes e presentes nos momentos decisivos.

À minha família e aos amigos, que souberam entender a minha ausência.

Ao Prof. José Helvécio Martins, pela atenção e apoio durante o processo de orientação.

À Faculdade Ietec, seu corpo docente, direção e administração, os quais contribuíram de forma significativa com o meu conhecimento.

Agradeço, enfim, aos meus pais (*in memoriam*), que na simplicidade e humildade, sonharam juntos comigo. Muito Obrigado!

## RESUMO

A Região do Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, como toda a região semiárida brasileira, tem enfrentado dificuldades com a severa escassez de água ao longo dos anos. Para a minimização deste problema, a captação e o armazenamento de água das chuvas, para atender ao consumo mínimo *per capita* de 50 litros/dia, como estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU), vem sendo utilizado por meio de um programa do Governo Federal denominado “Programa 1 Milhão de Cisternas” (P1MC), com a construção de reservatórios com capacidade para 16.000 litros. Todavia, este programa, que está presente em toda região semiárida brasileira, foi desenvolvido de forma empírica, e o volume de água armazenado não tem sido suficiente para o abastecimento de água residencial para as famílias durante todo o período de seca. Neste contexto, o objetivo neste trabalho foi avaliar a capacidade de aproveitamento de água das chuvas na zona rural do município de Turmalina, na região do Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, a fim de melhorar o sistema de captação e armazenamento de água das chuvas. Para realização deste trabalho, os índices pluviométricos nesta região, no período de 2004 a 2016, bem como a capacidade de armazenamento de água das chuvas em função da demanda, foram analisados. O programa computacional *Vensim PLE 6.3* foi utilizado para modelagem e simulação do sistema de captação de água das chuvas e o *Microsoft Excel* foi utilizado para elaboração de planilhas. Observou-se que o período de seca anual é de, aproximadamente, sete meses e que, mesmo no período chuvoso, há uma distribuição irregular dos índices pluviométricos ao longo dos anos. Concluiu-se que a área de captação de água das chuvas no telhado e a capacidade de armazenamento das cisternas existentes não são suficientes para suprir toda a demanda de água no período de seca. Portanto, este estudo recomenda a construção de um novo sistema de captação de água das chuvas, denominado “*terreiro de concreto*”, adequadamente dimensionado, para aumentar a área de captação de água das chuvas, bem como ampliar o volume dos reservatórios de 16.000 litros para 30.000 litros.

Palavras-chave: Água de Chuvas. Reuso de água. Cisternas. Escassez de Água.

## ABSTRACT

The region of Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, as all Brazilian semi-arid region, has faced difficulties with the severe water shortage over the years. To minimize this problem, the collecting and storage of rainwater, in order to meet the minimum per capita consumption of 50 liters/day, as established by the United Nations-UN, has been used by a Federal Government program called "*Programa 1 Milhão de Cisternas – P1MC*", with the construction of reservoirs with a capacity of 16,000 liters. However, this program, which is present in all Brazilian semi-arid region, was developed empirically, and the volume of stored water has not been enough for the residential water supply for the families during the whole period of drought. In this context, this work aims at to evaluate the capacity of utilization of rainwater in the rural municipality of Turmalina, in the Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, in order to improve the system for collecting and storing rainwater. For developing this work, the rainfall in this region, in the period of 2004 to 2016, as well as the capacity of storing rainwater as a function of demand, were analyzed. The Vensim PLE 6.3 computer program was used for modeling and simulation of rainwater collection's system, and Microsoft Excel was used for preparation of spreadsheets. It was observed that the annual dry period is approximately seven months, and that even in the rainy season, there is an uneven distribution of rainfall over the years. It was concluded that the collecting area of rainwater on the roof and the storage capacity of existing reservoirs are not sufficient to meet all the demand for water in the dry period. Therefore, this study recommends the construction of a new system to collect rainwater, called "terreiro concretado" ("concrete patio"), appropriately dimensioned, to increase the collection area of rainwater, as well as the expansion of the volume of the reservoirs of 16,000 liters to 30,000 liters.

**Keywords:** Rainwater. Reuse of water. Cisterns. Water scarcity.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Regiões hidrográficas brasileiras e percentuais de área, população e vazão hídrica média, por área, em relação ao país.....	23
Figura 2 –	Diagrama de fluxos do sistema de captação, armazenamento e consumo de água das chuvas na região do Alto Vale do Jequitinhonha.....	38
Figura 3 –	Variação da precipitação média mensal no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016 .....	40
Figura 4 –	Variação da precipitação no mês de janeiro no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016 .....	41
Figura 5 –	Variação da precipitação no mês de fevereiro no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016 .....	41
Figura 6 –	Variação da precipitação no mês de março no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016 .....	42
Figura 7 –	Variação da precipitação no mês de abril no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016 .....	42
Figura 8 –	Variação da precipitação no mês de maio no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016 .....	43
Figura 9 –	Variação da precipitação no mês de junho no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016 .....	43
Figura 10 –	Variação da precipitação no mês de julho no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016 .....	44
Figura 11 –	Variação da precipitação no mês de agosto no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016 .....	44
Figura 12 –	Variação da precipitação no mês de setembro no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016 .....	45
Figura 13 –	Variação da precipitação no mês de outubro no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016 .....	45
Figura 14 –	Variação da precipitação no mês de novembro no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016 .....	46
Figura 15 –	Variação da precipitação no mês de dezembro no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016 .....	46
Figura 16 –	Variação da quantidade de chuva no período de 2004 a 2016 no Alto Vale do Jequitinhonha .....	50
Figura 17 –	Dimensionamento do reservatório para área de captação de água da chuva igual a 60m <sup>2</sup> no Alto Vale do Jequitinhonha .....	51
Figura 18 –	Comparação entre a demanda de água por família (7,5m <sup>3</sup> ) e a quantidade de chuva mensal na região do Alto Vale do	

	Jequitinhonha para uma área de captação de 60m <sup>2</sup> .....	51
Figura 19 –	Dimensionamento do reservatório para área de captação de água da chuva igual a 120m <sup>2</sup> no Alto Vale do Jequitinhonha .....	53
Figura 20 –	Comparação entre a demanda de água por família (7,5m <sup>3</sup> ) e a quantidade de chuva mensal na região do Alto Vale do Jequitinhonha para uma área de captação de 120m <sup>2</sup> .....	54
Figura 21 –	Variação mensal do nível do reservatório com a ampliação da área de captação de água das chuvas de 60m <sup>2</sup> para 120m <sup>2</sup> no Alto Vale do Jequitinhonha .....	54
Figura 22 –	Diferença entre o volume de chuva e a demanda para uma residência com número de consumidores entre 3 e 7 com ampliação da área de captação de água das chuvas de 60m <sup>2</sup> para 120m <sup>2</sup> no Alto Vale do Jequitinhonha .....	56
Figura 23 –	Situação do nível do reservatório no caso de haver variação no consumo per capita de água no Alto Vale do Jequitinhonha .....	57
Figura 24 –	Sistema de captação de água de chuvas implantado em uma residência na região semiárida brasileira.....	58
Figura 25 –	Sistema de captação e de armazenamento de água das chuvas por meio de cisterna do tipo calçadão.....	58

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variáveis de entrada e os códigos de programação implementado no programa <i>Vensim PLE 6.3</i> .....	48
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo <i>per capita</i> de água no Brasil por região. ....	33
Tabela 2 - Distribuição do consumo mínimo de água <i>per capita</i> .....	34
Tabela 3 - Coeficientes de escoamento médios.....	37
Tabela 4 – Série histórica de dados pluviométricos no Alto Vale do Jequitinhonha. .	43
Tabela 5 - Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl para um consumo mensal por família igual a 7,5 m <sup>3</sup> de água, para uma área de captação do telhado de 60 m <sup>2</sup> . ....	53
Tabela 6 - Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl para um consumo mensal por família igual a 7,5 m <sup>3</sup> de água, para uma área de captação do telhado de 60m <sup>2</sup> para 120 m <sup>2</sup> . ....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
ASA	Articulação do Semiárido
CNDES	Conselho de Desenvolvimento Econômico e Social da Nova Zelândia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
P1MC	Programa 1 Milhão de Cisternas
PMSS	Programa de Modernização do Setor de Saneamento
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
3.1	A trajetória histórica de captação de água das chuvas.....	21
3.2	Manifestações mundiais priorizando as águas .....	22
3.3	Discussão sobre a gestão e a preservação das águas .....	24
3.4	Regulamentação das ações referentes ao uso das águas .....	27
3.4.1	<i>Aparato legal que embasa e regulamenta as ações referentes à temática das águas no Brasil.....</i>	<i>27</i>
3.4.2	<i>O Plano Nacional de Recursos Hídricos.....</i>	<i>28</i>
3.4.3	<i>A Criação da Agência Nacional de Águas (ANA) .....</i>	<i>30</i>
3.5	Captação de água das chuvas no Brasil.....	30
3.6	Demanda de água mínima por família.....	32
3.7	Etapas da captação e armazenamento .....	34
3.7.1	<i>Coeficiente de Escoamento.....</i>	<i>36</i>
3.7.2	<i>Dinâmica de Sistema.....</i>	<i>37</i>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>39</b>
4.1	Análise de Sensibilidade dos índices pluviométricos do Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016.....	39
4.2	Avaliação da capacidade de coleta de água das chuvas em função da demanda de água da população local .....	39
4.3	Análise de sensibilidade do sistema de captação e armazenamento de água das chuvas .....	42
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
5.1	Análise dos índices pluviométricos na região do vale do Jequitinhonha .....	43

5.2	Avaliação da capacidade de coleta de água das chuvas para as condições simuladas.....	51
5.3	Análise de sensibilidade .....	53
5.3.1	<i>Cenário 1</i> .....	53
5.3.2	<i>Cenário 2</i> .....	56
5.3.3	<i>Cenário 3</i> .....	59
5.3.4	<i>Cenário 4</i> .....	60
5.4	Considerações finais.....	61
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A região do semiárido no Brasil possui características próprias muito expressivas, das quais a principal delas é a baixa disponibilidade de água natural. Este fator ainda é agravado devido à predominância de períodos chuvosos concentrados em curtos períodos, durante o ano.

A realidade da escassez de água tem se tornado frequente em todas as regiões do Brasil, gerando um dos maiores problemas para a sociedade moderna (MAGALHÃES; NETO; NASCIMENTO, 2003). A seca é um fenômeno físico, natural e frequente, que se repete entre 8 a 10 vezes por século de forma mais intensa, quando o período chuvoso se torna ainda mais escasso, com pouca precipitação pluviométrica, inferior à média dos anos anteriores (DUARTE, 1999).

Os dados revelam que há uma contradição entre a falta de água ocorrida na região Sudeste nos últimos anos se comparado ao potencial hídrico no Brasil. O país, que possui o maior potencial hídrico mundial, com exceção da região semiárida, onde é fato a ocorrência de um déficit hídrico, é responsável por mais de 20% da água doce que desagua no Oceano do Mundo inteiro, tem enfrentado problemas de períodos de seca no sudeste e Centro-Oeste do Brasil. As iniciativas governamentais para levar água onde há excedente para lugares onde há déficit hídrico, que levaram a discussões sobre sua eficiência, uma vez que os recursos hídricos disponibilizados não estão direcionados ao atendimento de toda a população (JARDIM, 2015).

A região nordestina brasileira é a região semiárida mais povoada do mundo (BASTOS, 2007). Cerca de 11 milhões de pessoas que vivem nas áreas rurais nordestinas não têm acesso à água potável, situação que tem gerado altos índices de mortalidade infantil e problemas de saúde.

A captação de água das chuvas e o seu armazenamento em reservatórios denominados de cisternas de placas fazem parte de um projeto idealizado pela rede de organizações sociais Articulação Semiárido Brasileiro (ASA, 2014), denominado de *Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais — P1MC*, sendo seu principal financiador o Governo



Federal. Este projeto é considerado uma das maiores iniciativas mundiais relacionadas à captação e armazenamento de água de chuvas, direcionado para o abastecimento residencial.

A disponibilidade de água por meio de cisternas, cuja captação é proveniente das precipitações pluviométricas, fornece, além da água, melhores condições sanitárias, dignidade e esperança para as famílias. As mudanças introduzidas nas comunidades rurais, a partir do acesso à água, possibilitam a retomada da identidade dos agricultores locais beneficiados. Diante deste cenário, a cisterna como tecnologia de inclusão social, tem possibilitado o empoderamento dos pequenos agricultores marginalizados e a construção de laços solidários nas comunidades (DIAS, 2013).

De acordo com dados do Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome – MDS, existe uma demanda de água de cerca de 1.186.601 famílias residentes em áreas rurais do Semiárido Brasileiro (ARRUDA-D’ALVA; FARIAS, 2008).

No caso do Brasil, a implantação dos sistemas de captação e armazenamento de água das chuvas, principalmente na região semiárida, tem sido realizada de forma empírica, sem qualquer estudo detalhado da demanda de água e do regime pluviométrico da região. Portanto, uma otimização faz-se necessária, a fim de propor melhorias nos sistemas existentes, e proporcionar melhor qualidade de vida para a população da região, com sustentabilidade ambiental.

Inserida no cenário nacional, a região semiárida do estado de Minas Gerais é composta por, aproximadamente, 85 municípios, os quais apresentam situação de extrema crise em relação ao abastecimento de água para subsistência, principalmente nas comunidades rurais (BASTOS, 2007).

Em Minas Gerais, em especial na região norte do Estado e no Vale do Jequitinhonha, o semiárido é caracterizado pela distribuição irregular de chuvas durante o ano e não apenas pelo volume de precipitação anual, além da alta taxa de evaporação. A quantidade de precipitação anual entre 700 e 1000 mm não é

suficiente para restituir a quantidade de água evaporada no decorrer do ano (SCHISTEK, 2001).

A escassez de recursos hídricos, num contexto internacional, tem forçado o desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento de água das chuvas em todo o mundo, principalmente nas regiões mais carentes de zonas rurais. Países como China, Nova Zelândia e Tailândia desenvolvem programas semelhantes ao brasileiro, chamado de *Rooftop Rainwater Harvesting* (RTRWH), em que a captação de água das chuvas ocorre a partir da coleta e armazenamento de água do telhado das residências (GOMES, 2014).

As Nações Unidas possuem um programa direcionado para o Meio Ambiente, denominado de *United Nations Environment Programme* (UNEP), que trata da captação e o armazenamento de água das chuvas em cisternas, como uma opção para a redução da crise hídrica para o consumo humano (UNEP, 2009).

Na China, um grande programa de captação de água de chuva foi desenvolvido pelo Governo da Província de Gansu, uma das regiões mais pobres do país, beneficiando cerca de 2,5 milhões de pessoas (ZHU *et al.*, 2004; ZHU; YUANHONG, 2009).

Na África, foi elaborado um estudo denominado *African Futures Project* (AFP) no ano de 2014, sobre a crise emergente de água da África do Sul, o qual revela dados alarmantes sobre a projeção de disponibilidade de água naquele país (HEDDEN, 2016). Ainda segundo este autor, o país estava, em 2014, superexplorando a retirada de água e, caso nenhuma ação governamental de impacto nacional para redução do consumo fosse efetivada, em razão do crescimento econômico do país, a disponibilidade de água para a população esgotaria em 2035.

Muito mais do que iniciativas isoladas de tecnologias alternativas, a captação e armazenamento da água das chuvas tem se tornado cada vez mais necessária, mesmo em países onde há uma precipitação pluviométrica muito superior às médias mundiais. Em Taiwan, a precipitação média anual é em torno de 2457 mm, o que corresponde 2,6 vezes maior que a média mundial. Porém, em razão da grande densidade populacional, que é de 640 habitantes/km<sup>2</sup>, a quantidade de água

disponível per capita é de 4074 m<sup>3</sup> por ano, ou seja, pouco mais de 11 litros de água *per capita* por dia, o que coloca esta região, mesmo com um volume grande de precipitação anual, na 18<sup>a</sup> posição em escassez de água no mundo (LIAW; CHIANG, 2014).

Na Colômbia, apesar do crescente incentivo para o aproveitamento de água das chuvas, estudos mostraram que os sistemas desenvolvidos são mais eficientes na indústria e nas residências onde há um consumo elevado de água, com valores superiores a 203 litros *per capita* diariamente. Esta situação se deve ao baixo investimento em pesquisa de tecnologias alternativas viáveis, bem como à falta de incentivos para o uso racional de água, o que torna o custo benefício pouco atrativo para aplicação em residências com baixa disponibilidade deste insumo (OCANA, 2017).

As experiências de captação e uso de água das chuvas têm gerado resultados surpreendentes. Na África do Sul, um experimento-modelo para irrigação de gramados, implantado utilizando água das chuvas em um imóvel com área de cobertura de 120 m<sup>2</sup>, com precipitação durante 60 minutos, apresentou uma economia de água de 23,4 % e 73,8 % em custos de energia por dia, respectivamente, além de gerar economia nas fontes públicas de água e de energia, o que representa uma significativa redução no efeito estufa (WANJIRU, 2015).

No ano de 1999 foi realizado um levantamento das comunidades e de famílias que enfrentavam a falta de água de forma mais severa. A partir deste levantamento, surgiram as primeiras caixas de coleta de água das chuvas no município de Turmalina, na região do Alto Vale do Jequitinhonha (ASA, 2016), o que resultou na implantação de caixas de coleta de água das chuvas, com capacidade de armazenamento de 16000 litros, que foi o volume padronizado para toda a região semiárida brasileira, sem levar em consideração as variações nas precipitações pluviométricas no período de seca regional, quantidade de usuários por residência, área de captação do telhado e volume precipitado.

Os modelos atuais de desenvolvimento, com produção e consumo desenfreados, possuem indicadores de resultados apenas econômicos. Alguns poucos trazem

indicadores sociais e ambientais, porém insuficientes para uma visão mais clara visando ao desenvolvimento sustentável. As recentes crises financeiras, reduziram as atividades econômicas e também os impactos degradantes ao meio ambiente, todavia, também atingiram as iniciativas de desenvolvimento sustentável e foram afetados pela escassez de recursos. Os novos modelos de desenvolvimento e de gestão estão voltados para o chamadoecoinovação, principalmente aqueles relacionados ao aproveitamento e uso racional dos recursos hídricos, que visam a inovação tecnológica aliada a preservação ambiental (BLOK *et al.*, 2015).

Diante do cenário apresentado, este trabalho foi desenvolvido com foco nas comunidades rurais do município de Turmalina, na região do Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, onde há uma grande escassez de água e, portanto, disponibilidade insuficiente para suprir as necessidades mínimas da população local. A metodologia utilizada pode ser estendida para outros locais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Em geral, este trabalho objetiva avaliar a capacidade de aproveitamento de água das chuvas na zona rural do município de Turmalina, na região do Alto Vale do Jequitinhonha, e propor alternativas para melhorar o sistema de captação e armazenamento de água das chuvas.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Análise dos índices pluviométricos na região do Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, no período de 2004 a 2016;
- b) Avaliação da capacidade de coleta de água das chuvas, em razão da sazonalidade e dos índices pluviométricos em função da demanda de água da população do local analisado;
- c) Análise de sensibilidade do sistema de captação e armazenamento de água das chuvas.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 A trajetória histórica de captação de água das chuvas**

A captação da água da chuva pode parecer tecnologia contemporânea, porém sabe-se que as civilizações Astecas e Maias, no México já utilizavam este método em meados do século X, utilizando a água captada da chuva para destiná-la à produção.

A prática de coletar água de chuvas, é bem remota e tem exercida por diferentes civilizações e culturas ao longo do tempo, desde os povos Oriente, Oriente Médio, Europa e pelos Incas, Maias e Astecas na América Latina, incluindo relatos de dispositivos para coleta e armazenamento de água de chuva construídos e operados há mais de 2000 anos (GONÇALVES, 2006).

Na Grécia Antiga, as formas de captação de água da chuva foram empregadas há 3500 anos antes de Cristo. Esta técnica milenar de utilização de água das chuvas tem sido usada com diferentes finalidades pelos países em todo globo terrestre, variando desde o consumo humano, aplicação na agricultura, alimentação de animais; limpeza de espaços internos e externos, higienização de casas e vestuários, ou ainda para irrigação de parques e jardins (CUNHA, 2011).

Na atualidade, há alguns países que já estão mais avançados em tecnologias em relação à utilização de água das chuvas como, por exemplo, o Japão, que utiliza a água da chuva como forma de prevenção das enchentes urbanas (GOMES, 2014). Na Alemanha, entretanto, o incentivo é direcionado ao uso de água das chuvas com o objetivo de conservar as águas subterrâneas, uma vez que este é o principal manancial utilizado para abastecer as cidades alemãs (DIAS, 2013).

De maneira geral, a humanidade tem vivenciado, na atualidade, problemas ambientais dos mais diversos. São questões amplas que envolvem a antiga dicotomia entre o econômico e o ambiental, e quase sempre esbarrando na discussão sobre qual destes aspectos deveria ser prioritário. Entretanto, enquanto os estudiosos e ambientalistas não se entenderem, observa-se uma rápida e contínua

diminuição dos recursos ambientais, levando a preocupações sobre o real comprometimento desses recursos e sua garantia para as futuras gerações (HEDDEN, 2016).

### **3.2 Manifestações mundiais priorizando as águas**

Dentre os inúmeros problemas da sociedade contemporânea, estão as questões e demandas ambientais. A proporção do crescimento populacional não é acompanhada por ações de preservação e proteção ambiental, haja vista que, dentre as maiores preocupações ambientais, encontra-se a água, o recurso mais imprescindível para a vida humana, que tem se tornado foco de atenções inclusive da Organização das Nações Unidas (ONU), declarando que “até 2030, o planeta enfrentará um déficit de água de 40%, a menos que seja melhorada dramaticamente a gestão desse recurso” em seu relatório sobre o Desenvolvimento da Água (ONU, 2015).

O maior consumo de água pela população está relacionado, diretamente, com as demandas e exigências da vida moderna, que impõem padrões de conforto e bem-estar que repercute no meio ambiente, gerando níveis altos de degradação, o que ocasiona a escassez e a falta de água em várias partes do globo terrestre (REBOUÇAS, 1999). Portanto, justifica-se compreender e estudar a gestão das águas e as políticas públicas que a coordena. É consenso geral a sua utilidade e a condição de ser um líquido imprescindível para a vida humana, sem ter sido encontrado, até o momento, algum similar que a substitua.

A demanda de consumo de água cresce na medida do crescimento populacional, e seu uso na agricultura e indústrias aumenta continuamente. Neste contexto, entende-se que o abastecimento populacional tem sido garantido com a ampliação das redes de abastecimento e com a busca da água disponível em fontes e reservatórios cada vez mais distantes (ONU, 2015).

Nos espaços urbanos, observam-se usos inadequados, muito desperdício e ineficácia de programas educativos que contribuam para a redução do consumo e

sensibilização da população para as questões ambientais, talvez em decorrência da distância das fontes e desconhecimento das dificuldades no seu percurso (ASA, 2016).

A década de 1980 foi designada pela Organização das Nações Unidas como a “Década da Água Potável”, quando foi dado início a trabalhos de conscientização sobre as consequências do desperdício e uso inadequado da água, assim como a necessidade de preservação de suas fontes naturais (ONU, 2015).

No ano de 1992, aconteceu outra grande mobilização organizada pela ONU, na cidade de Dublin, Irlanda, intitulada “Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente”, onde se discutiu a urgência de cada país realizar uma gestão eficiente de seus recursos hídricos. Deste encontro surgiu um documento chamado “*Declaração de Dublin*” que estabeleceu quatro pontos consensuais (ONU, 2015):

1. A água doce é um bem finito e essencial para a espécie humana;
2. O gerenciamento da água deve ser realizado de forma participativa e democrática;
3. As mulheres devem ser envolvidas nas discussões sobre a água, em razão do seu papel fundamental no seu gerenciamento;
4. A água deve ter reconhecido o seu valor como bem econômico.

A Assembléia Geral das Nações Unidas, em 1993, estabeleceu o dia 22 de março de cada ano, como Dia Mundial da Água. A data foi criada para que os países discutam metodologias para sobre a gestão dos recursos hídricos, para disponibilizá-la às gerações futuras, tendo como foco estratégias para melhorar as condições de vida das populações que enfrentam problemas de fornecimento de uso contínuo de água, potabilidade, dentre outros (ONU, 2015).

No ano de 2002, foi realizada em Johannesburg, na África do Sul, a Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável, quando foram estabelecidos os cinco temas que comporiam a discussão sobre o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015):

1. Agricultura e biodiversidade;



2. Energia;
3. Saúde;
4. Educação;
5. Saúde e saneamento.

Consta da agenda sobre recursos hídricos, contida na Declaração do Milênio (PNUD, 2003), que uma das metas era “reduzir à metade, para o ano de 2015, a proporção da população mundial carente de água potável” além de “conter a exploração insustentável dos recursos hídricos”.

Em 2013, foi instituída pela UNESCO, o ano internacional de Cooperação pela Água, denominado International Year Of Water Cooperation, cuja cooperação possui dimensão multidisciplinar incluindo os aspectos culturais, educacionais, científicos, religiosos, éticos, sociais, políticos, jurídicos, institucionais e econômicos. Construir um consenso sobre as respostas adequadas a estas questões foi o foco principal do Ano Internacional e do Dia Mundial da Água em 2013 (ONU, 2013).

No ano de 2015, foi criado o Comitê das Nações Unidas para Direitos Econômicos, Sociais e Culturais (ONU, 2015), que afirma o seguinte: “O direito humano à água prevê que todos tenham água suficiente, segura, aceitável, fisicamente acessível e a preços razoáveis para usos pessoais e domésticos”. Portanto, observa-se que, ao longo dos anos, em diversos momentos, as questões ambientais e dentre elas a água, tem sido preocupação mundial.

### **3.3 Discussão sobre a gestão e a preservação das águas**

O consenso geral é sobre a urgência de políticas públicas que contribuam para conscientizar a população sobre o grande valor que a água representa na vida humana, assim como a urgência de preservação de suas fontes (ASA, 2016).

O Brasil é destaque mundial pelo volume de água doce no seu território, sendo um dos Países mais ricos do mundo em se tratando de disponibilidade hídrica (ANA, 2002). Estima-se que 10% do total de água doce do mundo esteja localizada em território brasileiro.

A abundância de água pode ter contribuído para a cultura de desperdício existente no Brasil. A compreensão da água como bem finito, ainda não está bem explicitada na sociedade brasileira. Destacam-se os inúmeros flagrantes de desperdício de água, tanto em ambientes domésticos como nos empresariais. Falta, de forma geral, uma real consciência da ausência de fontes alternativas de água. Portanto, não há outro caminho que não seja o melhor uso da água, em todos os setores de atividades, seja domiciliar, público ou industrial (ASA, 2016).

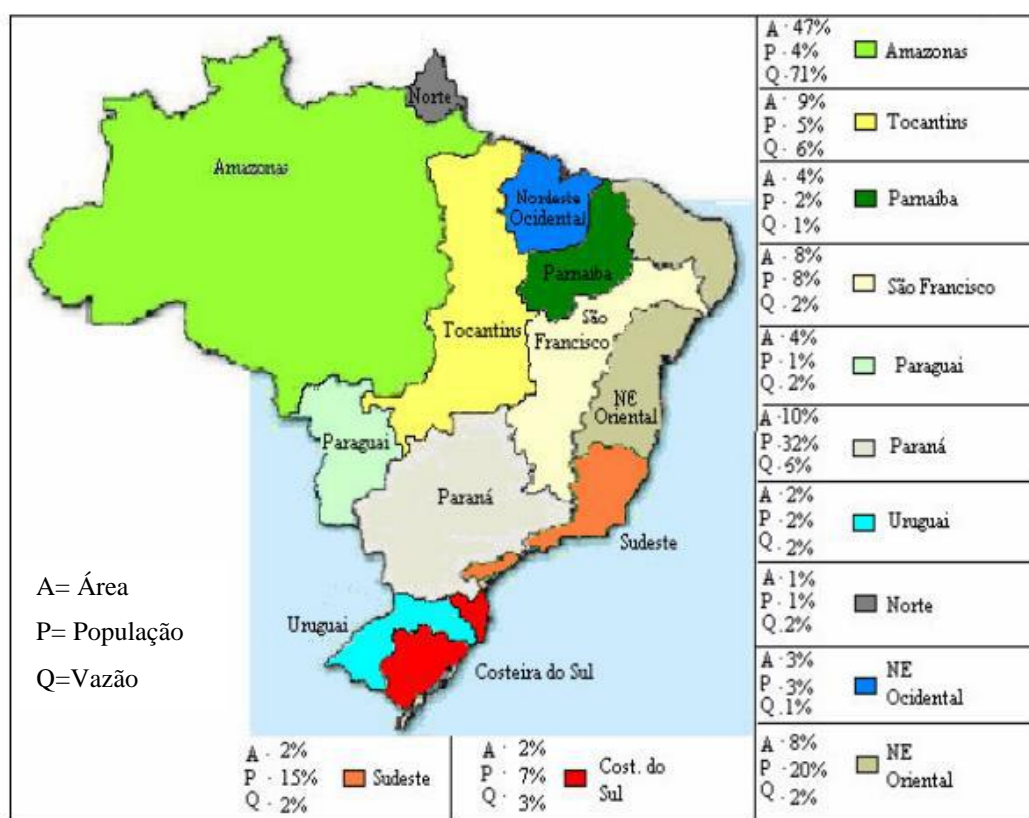
Tanto o aumento populacional como o desenvolvimento econômico contribuíram para a escassez de água no Brasil, aliados ainda à crescente piora nas condições da qualidade das águas dos rios, principalmente em municípios onde ocorrem atividades industriais, agropecuárias e de mineração (ANA, 2002). Não há paliativo possível que não seja a educação ambiental, o caminho a ser trilhado educando e conscientizando a população sobre as formas de contribuir para a preservação do ciclo hidrológico, preservação das nascentes, diminuição dos impactos das queimadas e da destruição das matas ciliares e demais assuntos relacionados, que interferem diretamente na manutenção da água.

A utilização racional da água da chuva, tanto na zona urbana como rural, seja para qualquer finalidade, pode ser considerada como uma fonte real, viável e que consegue efetivamente reduzir a necessidade do abastecimento de água, além de diminuir a demanda do abastecimento público. Entretanto, sabe-se que esse processo de captação da água da chuva precisa avançar, com mais estudos a respeito das formas de armazenamento, uso de tecnologias adequadas e cálculos técnicos, que contribuam para que o sistema de captação se torne uma prática comum no meio da população (ASA, 2016).

Há uma grande variação na disponibilização de recursos hídricos no Brasil, no tempo e no espaço, entre as diferentes regiões do país (ANA, 2002). Uma ilustração mostrada no mapa do Brasil, dividido em regiões hidrográficas e percentuais de área, população e vazão hídrica média, em relação ao país, é apresentada na Figura 1, mostrando uma visão clara da variação na distribuição da água em relação à população existente em cada região.

No ano de 2007, o Brasil, assinou o documento Carta de princípios cooperativos pela água, que integrava as 24 agências da Organização das Nações Unidas – ONU, envolvidas com a Celebração do Dia Mundial da água, cujo lema era “A procura de solução para a escassez da água”. Na justificativa deste evento, a ONU reconheceu a água como um direito humano básico e fez uma previsão de que, se houvesse continuidade nos padrões da época (em 2007) de consumo e utilização da água, até o ano de 2050, mais de 45 % da população mundial não conseguiria ter acesso à quantidade mínima de água que garantisse suas necessidades básicas. Naquele ano de 2007 já havia cerca de 1,1 bilhão de pessoas no mundo sem acesso à água potável (ONU, 2007).

Figura 1 – Regiões hidrográficas brasileiras e percentuais de área, população e vazão hídrica média, por área, em relação ao país



Fonte: ANA, 2002.

### 3.4 Regulamentação das ações referentes ao uso das águas

#### 3.4.1 *Aparato legal que embasa e regulamenta as ações referentes à temática das águas no Brasil*

Um aspecto importante a ser analisado é a forma como se encontra constituído e organizado o aparato legal que regulamenta as ações referentes à temática das águas no Brasil. Entendendo que a água é um elemento essencial do meio ambiente, havia necessidade de receber do Estado proteção legal. A garantia de preservação, cuidado e manejo foi amplamente regulamentada. Nesse contexto, há um sólido amparo jurídico, começando pela Carta Magna Brasileira, a Constituição Federal de 1988, que no seu artigo 225, estabelece que: “O meio ambiente é bem de uso comum do povo, não pertencente a qualquer pessoa física ou jurídica, quer seja ela privada ou pública. Mas, é um bem que pertence à coletividade” (CONSTITUIÇÃO FEDERAL, 1988).

O artigo 20, inciso III, da Constituição Federal de 1988, estabelece que:

São bens da união, os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais”. Entretanto, quando a Constituição estabelece que as águas sejam bens da União, não significa que seja no sentido de propriedade, mas, no sentido da responsabilização, como aquele que gerencia um bem público, comum e de interesse de toda a população (CONSTITUIÇÃO FEDERAL, 1988).

No artigo 26 da Constituição Federal de 1988, ficou estabelecido que:

Incluem-se entre os bens dos Estados: as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras públicas da União (CONSTITUIÇÃO FEDERAL, 1988).

As atuais recomendações técnicas para coleta e armazenamento de água provenientes de precipitações pluviométricas no Brasil apresentam divergências significativas com a realidade, o que expõe a necessidade de aprimoramento (DORNELLES; TASSI; GODENFUN, 2010).

A norma regulamentadora NBR 15527 (ABNT, 2007) fixa parâmetros para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas, para fins não potáveis, as quais, depois de passar por tratamento adequado, podem ser utilizadas

em descargas sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais.

Para que seja considerada água potável, a água deverá atender aos requisitos previstos na portaria nº 518 (BRASIL, 2004), de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde (norma de qualidade de água para consumo humano). No caso da região semiárida, existe uma grande dificuldade de disponibilidade de obtenção de água para atender a esta portaria.

A Organização das Nações Unidas – ONU, juntamente com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social da Tailândia, avaliaram que, desde o ano 2000, 25,7 % da população rural deste país, aproximadamente, utilizam a água das chuvas como principal fonte de fornecimento de água para a sobrevivência, o que representa cerca de 4 % da população rural daquele país (ONESDB/UNCTT, 2004).

### **3.4.2 O Plano Nacional de Recursos Hídricos**

Em 1997, houve um avanço na legislação com a criação da Lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997, em que se viu nascer a Política Nacional dos Recursos Hídricos - PNRH e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Esta Lei criou instrumentos para a gestão das águas no Brasil no âmbito da PNRH, os quais são:

- (i) os planos de recursos hídricos;
- (ii) a regionalização;
- (iii) a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental;
- (iv) a articulação com os usuários e com os planejamentos regionais, estaduais e nacional.

No caso de sobreposição de competências, a União deverá se articular com os Estados, tendo em vista o gerenciamento dos recursos hídricos de interesse comum, estabelecendo os fundamentos descritos como segue (BRASIL, 1997):

**A água é um bem de domínio público** - Da forma como foi redigido, o texto significa que a água não é propriedade de ninguém. O que pode ser outorgado é, simplesmente, o direito do uso. A expressão “domínio” não conota propriedade, mas reforça a premissa de que a água é um elemento ambiental e é um bem de uso comum do povo.

**Usos prioritários e múltiplos da água** – Significa que a água deve atender a uma função social e deve ser utilizada para muitas finalidades, como o consumo humano, o transporte, o lazer, diluição de esgotos, etc. Nos Planos de Recursos Hídricos, devem estar previstas as prioridades de uso da água.

**A água como um bem de valor econômico** - Mesmo que a água seja um bem natural ela possui um valor, e a cobrança pela sua utilização está prevista na lei nº 9.433/97. Tanto que, no artigo 22, está descrito que “os valores arrecadados com a cobrança pelo uso de seus recursos hídricos serão aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que foram gerados”. Assim, entende-se que toda arrecadação obtida com o uso da água se reverta em programas, projetos e obras, para a própria bacia que a gerou.

**Gestão descentralizada e participativa** - Nesse sentido, a Lei prevê que os Comitês de Bacia Hidrográfica, composta por pessoas e organizações da sociedade, participem e defina a melhor forma de gerenciar os processos e procedimentos relativos àquela bacia. Os comitês, a exemplo dos conselhos comunitários, devem ser paritários, sendo sua composição com 50 % de representantes do poder público, seja em nível nacional, estadual ou municipal, e com 50 % de representantes da sociedade civil organizada.

A Lei nº 9.433/97 suprime o antigo “Código de águas” criado por meio do Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934, que entendia a água como bem particular. O artigo 8º desta Lei, estabelecia: “São particulares as nascentes e todas as águas situadas em terrenos que também o sejam, quando as mesmas não estiverem classificadas entre as águas comuns de todos, as águas públicas ou as águas comuns” (BRASIL, 1997).

### 3.4.3 A Criação da Agência Nacional de Águas (ANA)

Outra importante regulamentação sobre a questão das águas, foi a instituição da Lei nº 9.984/2000 que criou a Agência Nacional de Águas - ANA, uma autarquia especial ligada ao Ministério do Meio Ambiente e com autonomia técnica, administrativa e financeira para implementar, disciplinar, operacionalizar, controlar e avaliar a gestão da Política Nacional dos Recursos Hídricos (BRASIL, 2000).

O leque de atuação nacional desta agência ultrapassa as bacias hidrográficas, e também desempenha ações de regulação, de monitoramento das águas, quer seja em rios quer seja em reservatórios, com desenvolvimento de programas e projetos de gestão e uso racional e adequado dos recursos hídricos existentes. Dentre as atribuições da ANA, destacam-se (BRASIL, 2000):

- (i) a articulação e a criação dos Comitês de Bacias Hidrográficas, por terem se tornado um importante instrumento de efetivação da Política Nacional dos Recursos Hídricos;
- (ii) a publicação de normas jurídicas que regulam os recursos hídricos brasileiros, seja definindo as formas de operação de reservatórios públicos ou privados, seja garantindo condições de sustentabilidade em obras hídricas.

## 3.5 Captação de água das chuvas no Brasil

Em muitas cidades brasileiras, por exemplo, São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba e Porto Alegre, têm sido adotadas legislações específicas sobre a coleta da água da chuva, visando à redução de enchentes, bem como a otimização dos recursos hídricos. Além disso, os novos empreendimentos passaram a ser obrigados a coletar água da chuva, não apenas para reduzir o “pico de cheias”, como também visando sua utilização para fins não potáveis (GONÇALVES, 2006).

Na cidade do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2004), o decreto municipal nº 23.940 de 30 de janeiro de 2004, tornou obrigatório a retenção de águas provenientes de precipitações pluviométricas em áreas impermeabilizadas superiores a 500 m<sup>2</sup>.

Na cidade de Curitiba (CURITIBA, 2003), por meio do Decreto-Lei 10.785 de 18 de setembro de 2003, ficou estabelecida a exigência de captação, armazenamento e utilização de água das chuvas nas novas edificações. Estabeleceu-se que o reuso das águas das chuvas servidas, quando armazenadas, é feito em vasos sanitários, jardins e parques, e apenas posteriormente ao seu reuso, é permitida a descarga na rede pública de esgoto. Portanto, essas legislações reforçam a necessidade de ações de conservação, preservação e uso racional dos recursos hídricos.

A gestão e a preservação da água da chuva podem ser entendidas como uma ferramenta de gestão para mitigar os problemas de água, como enchentes, estiagem, aumento do consumo de energia, rios secos, e para ter uma fonte de suprimento de água descentralizada e independente (LEUCK, 2008).

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2012), “embora 89 % da população mundial utilize fontes tratadas de água, 783 milhões de pessoas não têm acesso a água potável, com variações dramáticas por região. Apenas 61 % da população na África Subsaariana tem acesso a fontes de abastecimento de água tratada, em comparação com 90 % ou mais na América Latina e Caribe, Norte da África e grande parte da Ásia”. Possivelmente, esta situação não deve ter mudado significativamente depois de passados cinco anos desde então.

A disponibilidade de água, e o abastecimento para cada pessoa, deve ser contínuo e suficiente para usos pessoais e domésticos, que incluem, habitualmente, saciar a sede, saneamento pessoal, lavagem de roupa, preparação de refeições e higiene pessoal e do lar. De acordo com a Organização Mundial de Saúde são necessários entre 50 e 100 litros de água por pessoa, diariamente, para assegurar a satisfação das necessidades mais básicas e a minimização dos problemas de saúde (ONU, 2010).

A maioria das experiências brasileiras de aproveitamento da água da chuva se concentra na região semiárida. Esta prática, geralmente, é implementada utilizando cisternas para armazenamento da água coletada das chuvas, e contribui para equacionar os graves problemas de escassez de água da qual a população é refém.



Na região semiárida brasileira já foram construídas 588.935 cisternas rurais para captação de água para consumo humano (ASA, 2016).

A experiência de captação e armazenamento de água das chuvas em cisternas, proporcionados pelo Programa um Milhão de Cisternas (P1MC), do Governo Federal, em áreas rurais, tem sido relatada por vários pesquisadores em teses, dissertações e artigos, em razão da representatividade social que o programa apresenta, enfocando, principalmente, a utilização racional da água e as tecnologias utilizadas (SIQUEIRA-CAMPOS, 2004).

O Governo Federal brasileiro, por meio do Ministério de Desenvolvimento Social e Combate à Fome, tem destinado recursos públicos constantes para o fortalecimento do Programa um Milhão de Cisternas (P1MC), todavia, a demanda para o atendimento a todas as famílias necessitadas de acesso básico à água ainda está longe de ser atendida (ASA, 2016).

A Organização dos Estados Americanos – OEA, relata que, em 1997, os grandes problemas relacionados com a implementação de gestão da coleta de água das chuvas eram (PALMIER, 2001):

- (i) falta de um programa de difusão de tecnologias com resultados satisfatórios, tanto para a sociedade organizada, quanto para o poder público, para tomada de decisões de programas de governo e aporte financeiro;
- (ii) restrições e limitações financeiras;
- (iii) ausência de uma coordenação interinstitucional e multidisciplinar;
- (iv) pouca legislação adequada que possibilite investimento em tecnologias nesta área;
- (v) incapacidade de avaliar os impactos de forma apropriada das tecnologias alternativas nas situações existentes.

### **3.6 Demanda de água mínima por família**

O diagnóstico de água e esgoto, realizado pelo Ministério das Cidades por meio do Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS, 2003), apresenta

resultados de consumo médio *per capita* de água no Brasil de 141 litros por dia, conforme dados contidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo *per capita* de água no Brasil por região

<b>Região</b>	<b>Consumo Médio (L/dia)</b>
Norte	111,7
Nordeste	107,3
Sudeste	174,0
Sul	124,6
Centro-Oeste	133,6
<b>Média</b>	<b>141,0</b>

Fonte: PMSS, 2003.

De acordo com os dados da Tabela 1, o consumo *per capita* na região sudeste é superior à média do Brasil e muito superior ao das regiões Norte e Nordeste. Este fator de demanda por água se alterna, de acordo com a região e com o padrão econômico e social de cada família, além de outros fatores importantes tais como (TSUTIYA, 2005): tipo de clima, número de habitantes, características culturais, desperdício, custo para disponibilização, dentre outros, oscilando entre 50 L/dia e 600 L/dia.

A disponibilidade de água e o abastecimento para cada pessoa devem ser contínuos e suficientes para usos pessoais e domésticos, que incluem, habitualmente, saciar a sede, saneamento pessoal, lavagem de roupa, preparação de refeições e higiene pessoal e do lar. De acordo com a Organização Mundial de Saúde são necessários entre 50 e 100 litros de água por pessoa, diariamente, para assegurar a satisfação das necessidades mais básicas e a minimização dos problemas de saúde (ONU, 2010). Para as análises realizadas neste trabalho, foi considerado o valor mínimo recomendado de 50 litros por habitante por dia, distribuídos conforme as recomendações apresentadas na Tabela 2 (GLEICK, 1999).

Tabela 2 - Distribuição do consumo mínimo de água *per capita*

<b>Tipo de Consumo</b>	<b>Consumo Médio (L/dia)</b>
Água potável	5
Serviços sanitários	20
Banho	15
Preparo de alimentos	10
<b>Total</b>	<b>50</b>

Fonte: GLEICK, 1999.

### 3.7 Etapas da captação e armazenamento

O objeto principal deste trabalho são os telhados residenciais compostos por telhas cerâmicas, com inclinação média de 33 % em uma ou duas águas. Para a captação da água das chuvas, são utilizados coletores horizontais construídos utilizando a metade da seção transversal de tubos de PVC com 100 mm de diâmetro. A

captação da água é realizada nas bordas dos telhados e transportada por condutores verticais até os reservatórios. Apesar de haver uma recomendação para instalação de um sistema de peneiras ao longo dos condutores, com furos variando entre 0,2 mm e 1,0 mm de diâmetro, para retirada das impurezas de proporção maior, constata-se que a maioria das residências consideradas neste estudo não possui este dispositivo (LEUCK, 2008).

Durante o longo período de seca, é comum o acúmulo de folhas, poeiras e outros tipos de sujeira sobre o telhado. Assim, faz-se necessário a instalação de uma tubulação de desvio para eliminação da água da primeira chuva, para que esta não contamine o reservatório. Apesar de existirem equipamentos automáticos para esta finalidade, nas residências consideradas nas análises, este procedimento é realizado de forma manual. Todos os reservatórios construídos nas comunidades analisadas foram subsidiados por instituições filantrópicas e/ou ações governamentais, e possuem capacidade de armazenamento de 16.000 litros cada (ASA, 2016).

O dimensionamento do sistema de captação de água pode ser realizado utilizando a Equação 1, considerando um fator de segurança de 10 % (BRITO; PORTO, 1997):

$$V_t = \left( \frac{N_{pe} C_{pc} D_{ua}}{1000} \right) (1,1) \quad (1)$$

em que

$V_t$  = Volume total de água necessário, m<sup>3</sup>;

$N_{pe}$  = Número de pessoas;

$C_{pc}$  = Consumo por pessoa, L/dia ;

$D_{ua}$  = Período de uso da água armazenada, até o recomeço das chuvas, dia.

A área de captação de água corresponde ao tamanho do telhado e o volume compactado se dá em função deste, cuja probabilidade é estabelecida em 50 % para ocorrência de chuvas (SANTOS, 2010).

A probabilidade de ocorrência de precipitação pode ser calculada pela equação de Kimball, considerando-se a série de registros de precipitação diária, mensal ou anual (BRITO; PORTO, 1997), dada por:

$$P = \left( \frac{m}{n+1} \right) (100) \quad (2)$$

em que

$P$  = Probabilidade de ocorrência de precipitação, %;

$m$  = Número da sequência de ocorrência do evento;

$n$  = Número total de anos observados.

### 3.7.1 Coeficiente de Escoamento

O volume de água das chuvas precipitado, que se consegue aproveitar, não é igual ao total da precipitação devido às perdas, que podem variar entre 10% e 33% (TOMAZ, 2003). Estas perdas podem ser ocasionadas por vazamentos, evaporação e/ou limpeza do telhado, constituindo o escoamento. A quantificação destas perdas é realizada por meio do coeficiente de escoamento, definido como:

$$C_{es} = \frac{Q_{es}}{Q_{ap}} \quad (3)$$

em que

$C_{es}$  = Coeficiente de escoamento, adimensional;

$Q_{es}$  = Quantidade de água escoada superficialmente,  $m^3$ ;

$Q_{ap}$  = Quantidade de água precipitada,  $m^3$ .

O coeficiente de escoamento varia para cada tipo de material utilizado no sistema de captação de água. Na Tabela 3, encontram-se valores de coeficiente de escoamento para dois tipos de telhas, encontrados na literatura.

Considerando-se a variabilidade do coeficiente de escoamento para o tipo de telhado mais comumente utilizado na região do Alto Vale do Jequitinhonha, foi considerado o valor de 0,85 para o coeficiente de escoamento, como sugerido por Smith (1984), e também adotado por Tomaz (2003).

Tabela 3 - Coeficientes de escoamento médios

<b>Telhado de Telha</b>	<b>Coeficiente de Escoamento</b>	<b>Referência</b>
Telhas Cerâmicas	0,8 a 0,9	Tomaz (2003)
	0,85	Smith (1984)
	0,75 a 0,9	Vaes e Berlamont (1999)
	0,56	May (2005)
Telhas corrugadas de metal	0,7 a 0,9	Tomaz (2003)
	0,85	May (2005)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

### 3.7.2 *Dinâmica de Sistema*

Dinâmica de Sistemas pode ser entendida como sendo uma abordagem utilizada para entender o comportamento de sistemas no tempo, que lida com ciclos de retroalimentação interna e atrasos que afetam o comportamento do sistema como um todo (RADZICKI; TAYLOR, 2008).

Existem várias ferramentas computacionais disponíveis para modelagem e simulação de dinâmica de sistemas, dentre elas encontra o programa computacional *Vensim*, em suas várias versões. O *Vensim* caracteriza-se pelo seu próprio ambiente, no qual pode-se construir ou estudar modelos de diagramas causais, diagramas de fluxos e simulação de modelos, constituindo-se em uma ferramenta visual de modelagem que permite conceituar, documentar, simular, analisar e aperfeiçoar modelos de simulação, a partir de diagramas causais ou diagramas de fluxo, não sendo necessário trabalhar com equações matemáticas diretamente (KIRKWOOD, 1998).

No *Vensim*, a conexão entre as variáveis do sistema é realizada por meio de setas que são reconhecidas como conexão de causa-efeito. Essa informação é utilizada pelo editor de equação do programa para formar o modelo de simulação completa do sistema. O modelo pode ser analisado por meio do seu processo de construção, observando as causas (variáveis que modificam a variável de interesse), dos tipos de uso (variáveis que são modificadas pela variável de interesse) de uma variável, e também pelos laços de retroalimentação (*loops*) envolvendo essa variável (KIRKWOOD, 1998).

Considerando a complexidade da irregularidade na distribuição do regime de chuvas na região analisada, o *Vensim* foi utilizado neste trabalho para a modelagem e simulação do sistema de captação de água de chuvas na região do Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, mais especificamente com foco nas comunidades rurais do município de Turmalina.

## **4 METODOLOGIA**

Para facilitar as análises e interpretação dos resultados, este trabalho foi dividido em duas partes, descritas detalhadamente nas subseções a seguir:

- (i) análise dos índices pluviométricos no Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016;
- (ii) avaliação da capacidade de coleta de água das chuvas em função da demanda de água da população local.

### **4.1 Análise de Sensibilidade dos índices pluviométricos do Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016**

As análises realizadas neste estudo baseiam-se, principalmente, nos dados da distribuição das quantidades de precipitação pluviométricas na região do Alto Vale do Jequitinhonha, bem como nas suas variações ao longo do período de 2004 a 2016. Também foram considerados quantidade armazenada e a quantidade consumida de água captada das chuvas pelas famílias, ao longo do período da seca, durante o ano.

Os dados de distribuição pluviométrica foram obtidos da série histórica disponibilizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016), obtidos na estação pluviométrica instalada na cidade de Salinas, Minas Gerais, por ser esta a estação oficial do INMET mais próxima do local de estudo. A análise dos dados foi realizada utilizando a planilha eletrônica *Microsoft Excel* para tabulação e elaboração de gráficos.

### **4.2 Avaliação da capacidade de coleta de água das chuvas em função da demanda de água da população local**

Para as análises de consumo de água, foi considerada uma família com cinco integrantes na residência, sendo composta por um casal com três filhos, com consumo *per capita* de 50 L/dia, totalizando 7,5 m<sup>3</sup> mensais por residência (GLEICK, 1999), que é o consumo mínimo recomendado pela Organização Mundial de Saúde



(OMS, 2011), para que o indivíduo tenha sua sanidade física e intelectual preservadas. A região analisada apresenta condições de extrema escassez de água e está localizada no Alto Vale do Jequitinhonha, conhecida como Região Semiárida Mineira.

A área de captação de água do telhado foi definida considerando uma residência padrão unifamiliar, com cobertura cerâmica e inclinação média do telhado de, aproximadamente, 33%, com coeficiente de perda na captação e escoamento igual a 15 % (SMITH, 1984; TOMAZ, 2003). O valor da área de telhado adotada foi de 60 m<sup>2</sup>, correspondente a uma residência comumente encontrada na zona rural do município de Turmalina, Minas Gerais.

O método de Rippl foi utilizado para analisar a distribuição da quantidade de água de chuva precipitada e, a partir da demanda, identificar a capacidade do reservatório necessária para evitar a falta de água no período mais crítico da estiagem ao longo do ano (TOMAZ, 2003). Neste método, o volume de água que escoar pela superfície de captação é subtraído da demanda de água pluvial em um mesmo intervalo de tempo. A máxima diferença acumulada positiva é o volume do reservatório para 100% de confiança (SCHILLER; LATHAN, 1982). O método de Rippl pode utilizar dados de precipitação mensal ou diário. A utilização de dados mensais implicará em reservatórios maiores. Assim, recomenda-se que, quando possível, sejam utilizados dados diários. É um método de cálculo de volume de armazenamento necessário para garantir uma vazão regularizada constante durante o período crítico de estiagem observado.

Para o gerenciamento do armazenamento, considerando as possíveis variações que podem ocorrer no sistema de captação e armazenamento, foi utilizado o programa computacional *Vensim PLE 6.3*, para simulação da dinâmica do sistema de captação de água das chuvas e apresentação gráfica dos resultados (VENTANA SYSTEMS, 2015).

O modelo matemático expresso na Equação 4 foi utilizado na programação da dinâmica de sistemas, para representar a forma agregada de estoque e fluxo de água captada das chuvas (VIEIRA, 2008):

$$E(t) = \int_{t_0}^t [F_e(t) - F_s(t)] dt + E(t_0) \quad (4)$$

em que

$E(t)$  = Estoque em qualquer tempo  $t$ ;

$F_e(t)$  = Taxa de entrada em qualquer tempo  $t$ ;

$F_s(t)$  = Taxa de saída em qualquer tempo  $t$ ;

$E(t_0)$  = Estoque inicial, no tempo  $t_0$ .

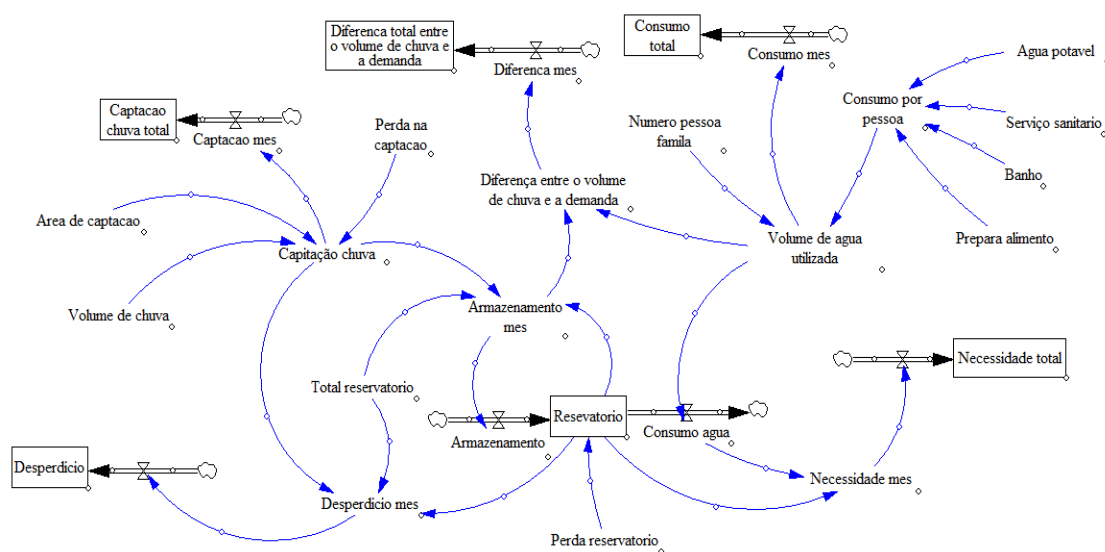
A taxa líquida de variação de estoque de água é a diferença entre o fluxo de entrada e o fluxo de saída, e nada mais é do que a diferencial da Equação 4:

$$\frac{dE(t)}{dt} = F_e(t) - F_s(t) \quad (5)$$

Com base nesta metodologia, foi elaborado um diagrama de fluxos para simulação do sistema de captação, armazenamento e consumo de água das chuvas na região no Alto Vale do Jequitinhonha, utilizando o programa *Vensim PLE 6.3*, conforme apresentado na Figura 2. Este diagrama expressa as relações entre as variáveis do sistema e suas influências no sistema de captação, armazenamento e consumo de água das chuvas.

Foram realizadas três simulações do comportamento do sistema de coleta e armazenamento de água usando o *Vensim PLE 6.3*. Os resultados foram apresentados na forma de gráficos, elaborados a partir da codificação do algoritmo apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Diagrama de fluxos do sistema de captação, armazenamento e consumo de água das chuvas na região do Alto Vale do Jequitinhonha



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

### 4.3 Análise de sensibilidade do sistema de captação e armazenamento de água das chuvas

O dimensionamento da capacidade do reservatório para armazenamento de água de chuvas está diretamente ligado a diversas variáveis, conforme apresentado a Figura 2.

O dimensionamento apropriado do reservatório para armazenamento de água das chuvas pode ser realizado por meio de uma análise de sensibilidade de alguns parâmetros que influenciam o volume dos reservatórios. Neste trabalho, esta análise foi realizada com base na distribuição do regime de chuvas no período de 2004 a 2016, considerando o volume mínimo de 7,5 m<sup>3</sup> por família, que é o mínimo recomendado pela Organização Mundial de Saúde.

Foi analisado o comportamento do sistema de armazenamento por meio da simulação de cenários, considerando dois valores de área de captação do telhado (60 m<sup>2</sup> e 120 m<sup>2</sup>), número de habitantes por família de 3 e 7 moradores e, ainda, a possibilidade de cada morador exceder o consumo mínimo recomendado de 50 litros por dia. Para análise dos resultados, foram utilizadas as ferramentas computacionais *Vensim PLE* e o *Microsoft Excel*.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise dos índices pluviométricos na região do vale do Jequitinhonha

Uma série histórica de dados de índices pluviométricos da região do Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016 é apresentada na Tabela 4 (INMET, 2017).

Tabela 4 – Série histórica de dados pluviométricos no Alto Vale do Jequitinhonha

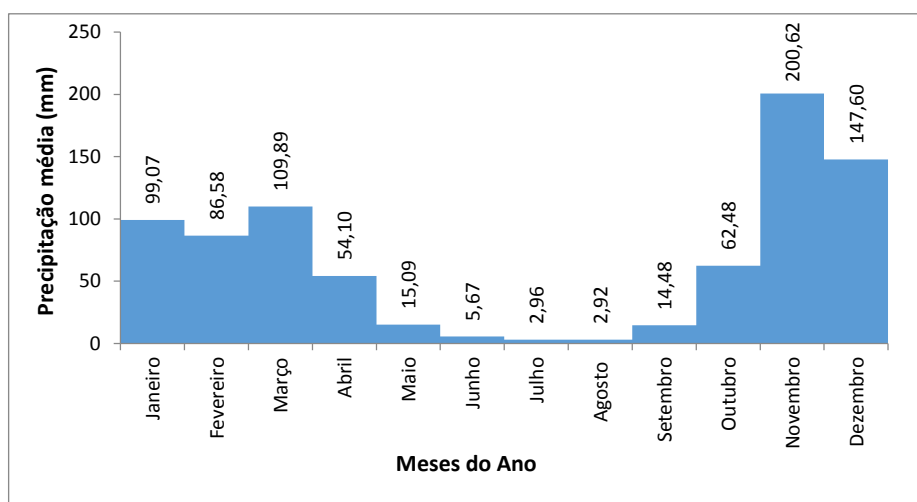
Mês	Anos													Média Mensal (mm)
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Jan	207,8	127	11,7	72,1	79	119,2	28,3	52,6	65,6	164,5	26,3	13,9	319,9	99,07
Fev	261,8	136,7	50	240	62,7	4,8	88,8	28,4	48	62,6	17,9	118,8	5,1	86,58
Mar	332,1	146,8	224,3	11,4	36,3	34,7	247,7	131,2	25,2	101,1	92,5	40,9	4,4	109,89
Abr	45	5,8	93,8	95	76,6	204,3	75	38,6	1	17,2	12,1	38,9	0	54,10
Mai	5,9	12,5	23,1	3,1	0	22,8	16,6	1,5	63,7	15,2	9,5	21,3	1	15,09
Jun	23,3	13,2	4,6	0,4	0,5	0	0,7	0	0	7,9	12,5	2	8,6	5,67
Jul	5,5	3,7	0,9	0,7	0	0	6	3,4	0,8	0	4,8	11,5	1,2	2,96
Ago	0	1	1,2	0,6	0	6,5	0	0,2	1,4	18,4	0,6	3,1	5	2,92
Set	0	19,6	70,9	7,1	22	2,6	0	0	6,2	1,4	0,4	0	58	14,48
Out	141,5	47,8	88,6	0	1	186,5	25,6	95,1	3,3	33,6	67,1	75,4	46,8	62,48
Nov	61,6	213,4	400,3	139,4	351,6	56,9	303	138,3	243,2	225,9	218,3	53	203,2	200,62
Dez	54,5	183,4	162,9	112,9	260,9	79,5	241,5	216,9	54,9	303,5	136,7	78,4	32,8	147,60
<b>TOTAL</b>	<b>1.139</b>	<b>910,9</b>	<b>1.132,3</b>	<b>682,7</b>	<b>890,6</b>	<b>717,8</b>	<b>1.033,2</b>	<b>706,2</b>	<b>513,3</b>	<b>951,3</b>	<b>598,7</b>	<b>457,2</b>	<b>686</b>	<b>801,48</b>
<b>MÉDIA</b>														
<b>MENSAL A CADA ANO</b>	<b>94,92</b>	<b>75,91</b>	<b>94,36</b>	<b>56,89</b>	<b>74,22</b>	<b>59,82</b>	<b>86,10</b>	<b>58,85</b>	<b>42,78</b>	<b>79,28</b>	<b>49,89</b>	<b>38,10</b>	<b>57,17</b>	<b>66,79</b>

Fonte: INMET, 2017. (Estação: SALINAS – MG; OMM: 83441).

Analisando a quantidade de precipitação mensal a cada ano, observa-se que o regime de chuvas apresenta irregularidades mensais. Além disto, historicamente, a precipitação acumulada também varia significativamente ao longo dos anos, por exemplo, no ano de 2004, a precipitação acumulada de foi de 1139 mm e no ano de 2015 a precipitação acumulada foi 457,2 mm, uma variação (para menos) de 249,1 % entre estes dois anos. Estas variações dificultam muito o desenvolvimento de programas de gestão de programas sociais para mitigação dos problemas causados pela escassez de água nesta região.

A variação da precipitação média mensal no Alto Vale do Jequitinhonha é apresentada no gráfico da Figura 3 para a série de dados históricos no período de 2004 a 2016. Observa-se que o período chuvoso, historicamente, está compreendido entre os meses de novembro a março de cada ano, nos quais concentram-se os maiores índices de precipitação pluviométrica. Neste caso, ressalta-se o período prolongado de sete meses de seca, com maior severidade entre os meses de maio e setembro.

Figura 3 – Variação da precipitação média mensal no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

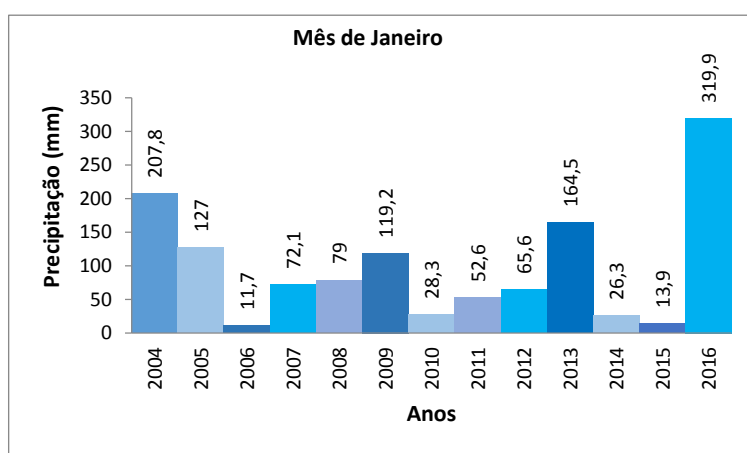
Uma outra situação que pode ser analisada, considerada agravante do problema de escassez de água na região analisada, refere-se à grande irregularidade do regime de chuvas ao longo dos anos, mês a mês, como observada nas Figuras 4 a 15.

Pela observação das Figuras 4 a 15 torna-se evidente a irregularidade e as grandes variações na quantidade de precipitação ao longo de todos os meses do ano. Estas variações não apresentam um padrão bem definido, que possa ser descrito por um modelo matemático analítico. Portanto, trata-se de evento probabilístico de difícil previsão a longo prazo.

Analisando as Figuras 4, 5 e 6, observa-se que a maior quantidade de precipitação na região do Alto Vale do Jequitinhonha ocorre no período entre os meses de novembro a abril, embora com grande variabilidade ao longo dos anos.

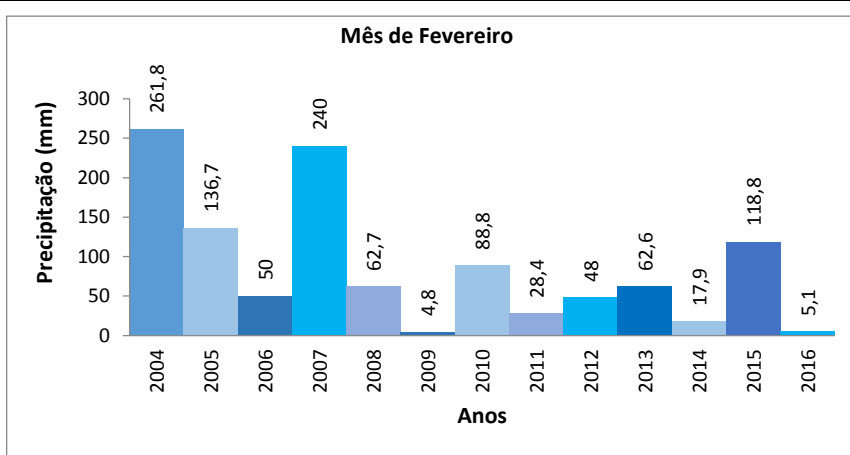
Na Figura 4, por exemplo, observa-se que as quantidades de chuva acumuladas, no mês de janeiro, podem variar de 11,7 mm, em 2006 a 319,9 mm, em 2016. Nestes dois anos, a precipitação anual acumulada esteve abaixo da média historicamente observada no período, que foi de 801,5 mm. Isto significa que a chuva ocorrida em janeiro de 2016 representa, aproximadamente, 40 % da precipitação total do ano. Análise semelhante pode ser feita para as Figuras 5, 6 e 7.

Figura 4 – Variação da precipitação no mês de janeiro no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016



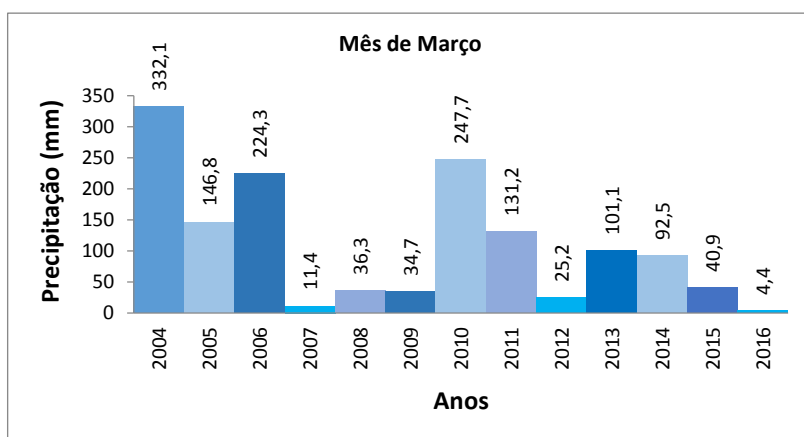
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Figura 5 – Variação da precipitação no mês de fevereiro no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016



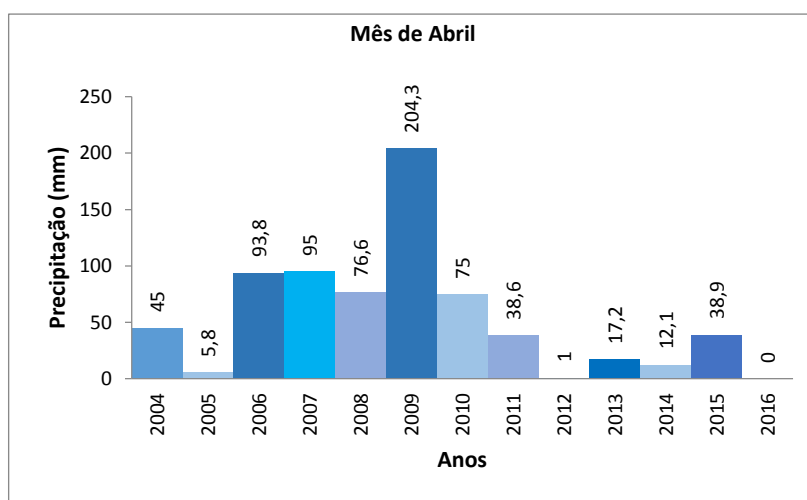
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Figura 6 – Variação da precipitação no mês de março no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

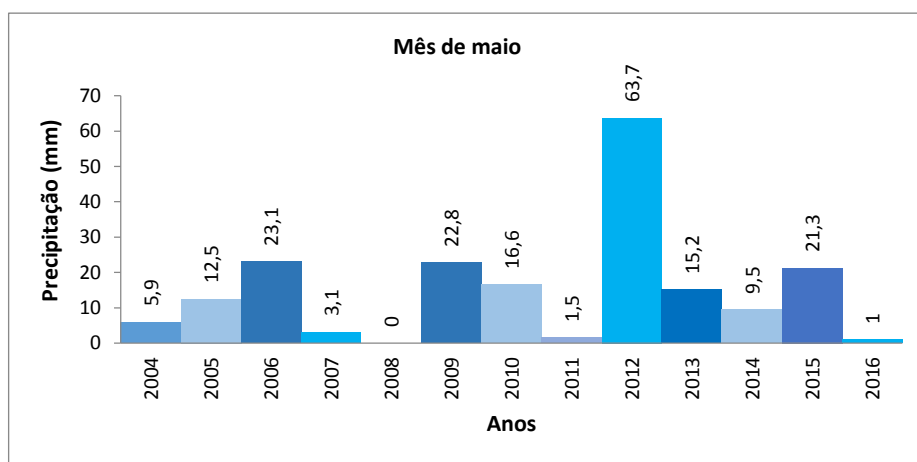
Figura 7 – Variação da precipitação no mês de abril no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

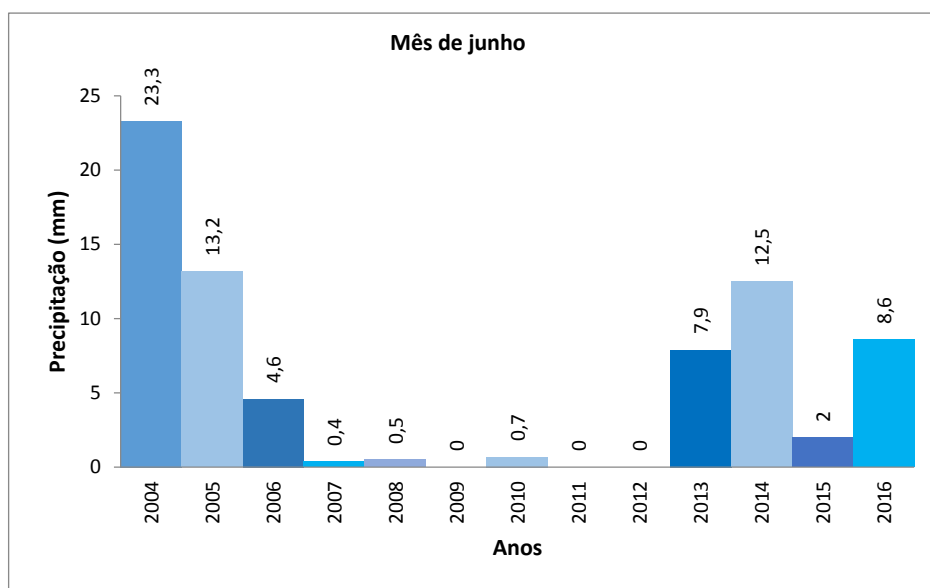
O período de intensa estiagem na Região do Alto Vale do Jequitinhonha compreende os meses de maio a setembro, conforme pode-se observar nas Figuras 8 a 12. Em anos atípicos, tem ocorrido precipitações, porém em pequenas quantidades, as quais representam pouca significância para a região semiárida brasileira, em razão das altas temperaturas, aliadas à intensa taxa de evaporação da água precipitada neste período.

Figura 8 – Variação da precipitação no mês de maio no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

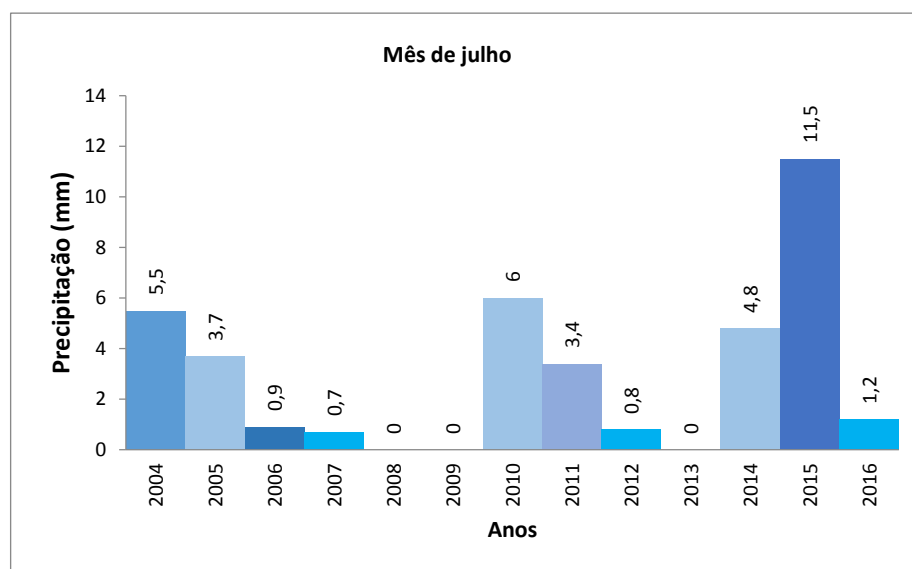
Figura 9 – Variação da precipitação no mês de junho no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

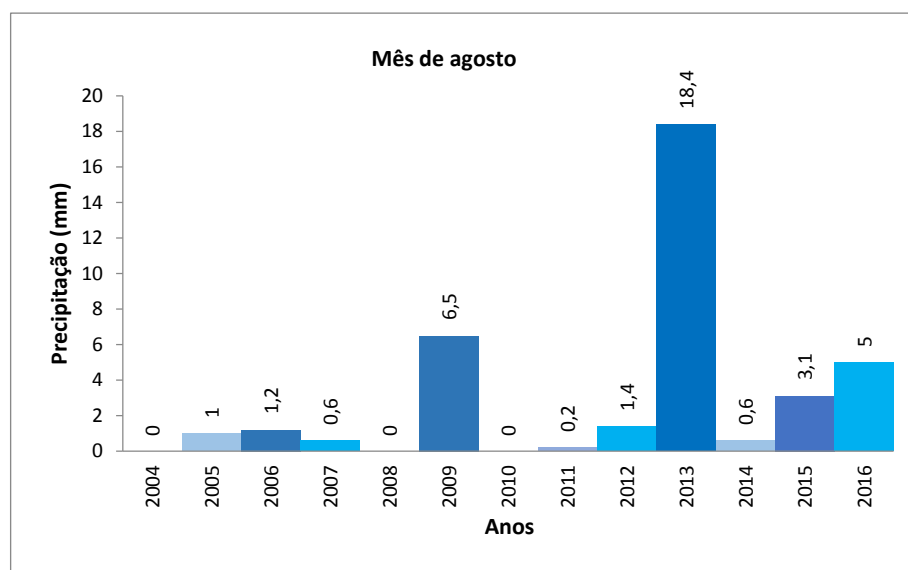


Figura 10 – Variação da precipitação no mês de julho no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016



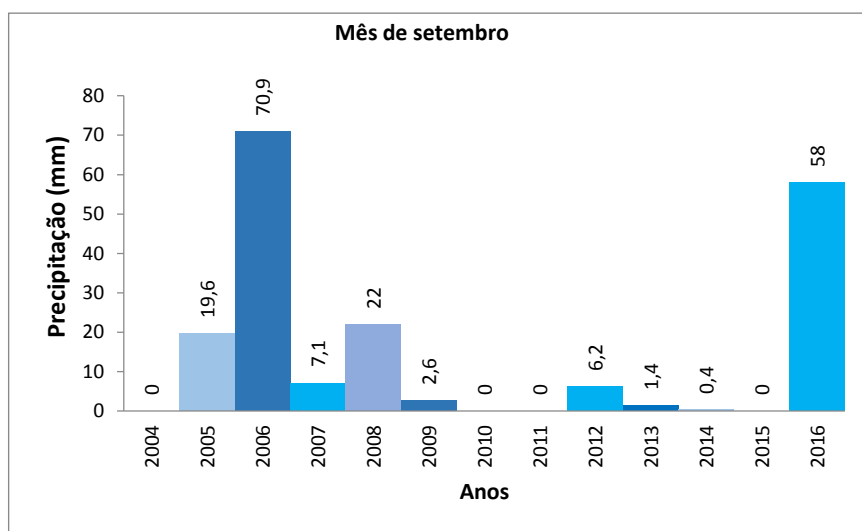
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Figura 11 – Variação da precipitação no mês de agosto no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

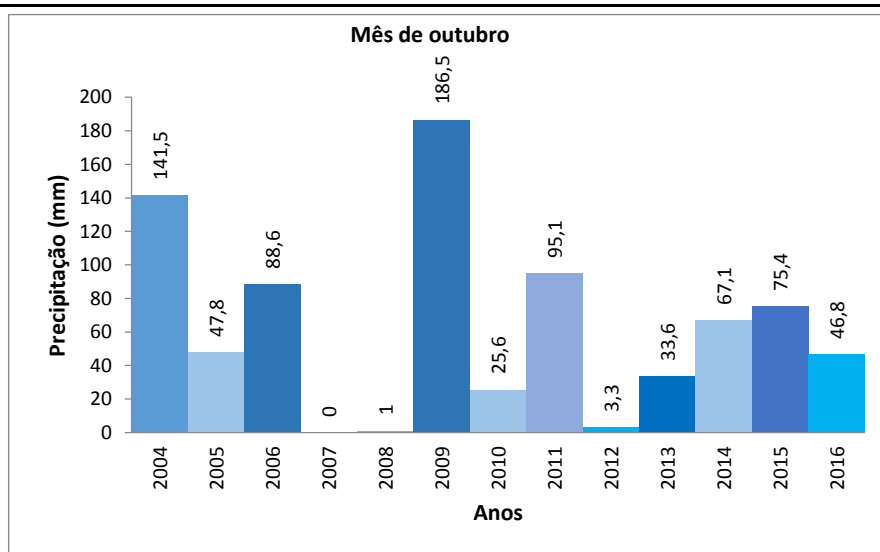
Figura 12 – Variação da precipitação no mês de setembro no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

O período prolongado de seca na região semiárida brasileira começa a ter alívio no mês de outubro, conforme pode ser observado na Figura 13, em que para cerca de 30 % do período analisado, a quantidade de chuvas é inferior a 30 mm, portanto de pouca significância para atender às necessidades básicas das famílias residentes naquela região.

Figura 13 – Variação da precipitação no mês de outubro no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016

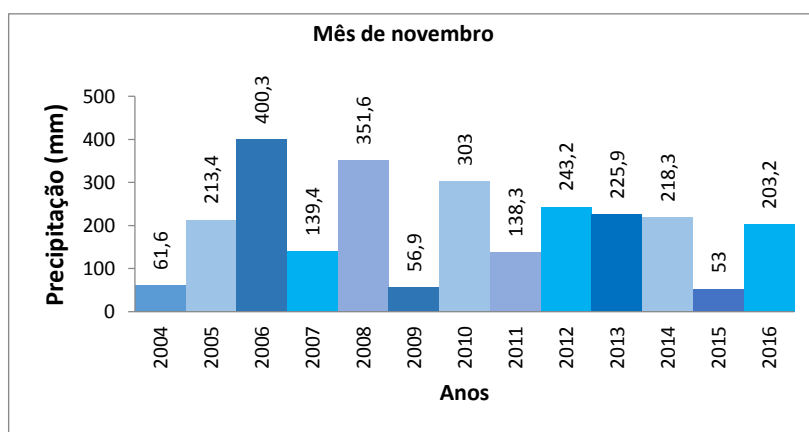


Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Uma observação interessante é que, em 2009, a maior quantidade de precipitação ocorreu no mês de outubro (Figura 13), no período analisado, com 186,5 mm de chuvas, valor atípico para esta época do ano, mas de grande significância para amenizar os efeitos da baixa ocorrência de precipitação ao longo do período de seca anterior.

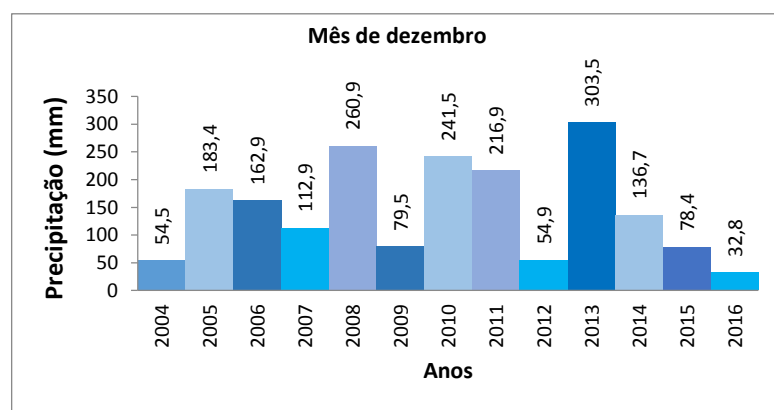
A temporada de chuvas na região do Alto Vale do Jequitinhonha inicia-se no mês de novembro e se estende até abril do ano seguinte, conforme pode ser observado nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 – Variação da precipitação no mês de novembro no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Figura 15 – Variação da precipitação no mês de dezembro no Alto Vale do Jequitinhonha no período de 2004 a 2016



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Observa-se que, mesmo neste período de chuvas mais intensa, em alguns anos a quantidade de precipitação foi muito baixa em cerca de 30 % do período analisado, chegando a 4,4 mm, em março de 2016 e a 4,8 mm, em fevereiro de 2009, conforme pode ser observado recorrendo às Figuras 4 e 5, apresentadas anteriormente.

## **5.2 Avaliação da capacidade de coleta de água das chuvas para as condições simuladas**

A partir da análise da variabilidade na distribuição pluviométrica na região do Alto Vale do Jequitinhonha, apresenta-se como desafio desenvolver melhorias no processo de captação e armazenamento da água das chuvas.

Para análise dos dados, foram utilizados os programas computacionais *Vensim PLE 6.3* e o *Excel*, os quais foram capazes de fornecer resultados que permitem redimensionar o sistema de armazenamento e captação de água das chuvas, para possibilitar a disponibilidade de água na quantidade mínima recomenda pela Organização Mundial de Saúde. O diagrama causal para simulação da dinâmica do sistema de captação, armazenamento e consumo de água da chuva na região do Vale do Alto Jequitinhonha, foi apresentado na Figura 2, na seção Metodologia.

O algoritmo referente ao diagrama causal da Figura 2 foi implementado utilizando o programa *Vensim PLE 6.3*, que simula a estrutura, as relações e sua influência no sistema de captação, armazenamento e consumo de água das chuvas, em função das relações causais. As principais variáveis do problema em pauta são descritas a seguir.

**Consumo:** Para as análises realizadas neste estudo, foi considerada uma família com 5 pessoas, com consumo *per capita* de 50 L/dia (GLEICK, 1999). Ressalta-se que este consumo também é o mínimo recomendado pela Organização Mundial de Saúde, para que o indivíduo tenha sua sanidade física e intelectual preservadas.

**Captação:** Neste estudo foi considerada uma residência padrão unifamiliar, com cobertura de telhas cerâmicas, com inclinação média do telhado de 33%, aproximadamente, cujo coeficiente de perda na captação e escoamento é de 15 %

(SMITH, 1984; TOMAZ, 2003). A área de captação considerada foi de 60 m<sup>2</sup>, o que corresponde a uma residência comumente encontrada na zona Rural do Município de Turmalina.

**Capacidade do Reservatório:** A região do Alto Vale do Jequitinhonha está inserida como beneficiária do programa P1MC, o qual disponibiliza para os agricultores em condições de extrema escassez de água, uma caixa d'água (comumente chamada de cisterna de placas), com capacidade de armazenamento de 16.000 litros (padrão). Ressalta-se que, para as condições de captação, consumo e de acordo com os índices pluviométricos analisados, o volume de água armazenado não é suficiente para suprir a demanda mínima de água recomendada pela Organização Mundial de Saúde durante todo o período da estação de seca da região semiárida do estado de Minas Gerais.

Para simulação do sistema considerou-se a capacidade do tanque igual a 16.000 litros inicialmente cheio. As variáveis de entrada e o código de programação implementado no *Vensim PLE* são apresentados, resumidamente, no Quadro 1.

Quadro 1 - Variáveis de entrada e os códigos de programação implementado no programa *Vensim PLE 6.3*

Variáveis	Códigos (ou variáveis) implementadas no programa
Volume de Chuva	RANDOM NORMAL(0, 155.5 , 66.8 , 88.7 , 1 )GET DIRECT CONSTANTS( {filename} , {tabname} , {firstcell} )
Área de captação (m <sup>2</sup> )	60,00
Capacidade do reservatório (m <sup>3</sup> )	16
Número de pessoas por família	5
Volume disponível para entrada (m <sup>3</sup> )	Area de captacao*(Volume de chuva*10 <sup>-3</sup> ) - ((Area de captacao*(Volume de chuva*10 <sup>-3</sup> ))*Perda na captacao)
Desperdício	IF THEN ELSE( (Resevatorio + Capitação chuva) > Total reservatorio , Resevatorio + Capitação chuva -Total reservatório.
Armazenamento	IF THEN ELSE( (Resevatorio + Capitação chuva) > Total reservatorio , abs(Total reservatorio - Resevatorio) , Capitação chuva )
Consumo por pessoa	((Consumo por pessoa*Numero pessoa familia)*30)*(10 <sup>-3</sup> )
Reservatório	IF THEN ELSE(Reservatorio + (Armazenamento-Consumo agua)- ((Armazenamento-Consumo agua)*Perda reservatorio) <0, 0 , (Armazenamento-Consumo agua)- ((Armazenamento-Consumo agua)*Perda reservatorio))
Diferença entre o volume e a demanda	Armazenamento mes-Volume de agua utilizada
Necessidade por mês	Reservatorio-Consumo agua

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

### 5.3 Análise de sensibilidade

Diante da grande variação da distribuição da quantidade de chuvas a cada ano, foram simulados dois cenários, por meio do método de Rippl para o dimensionamento do reservatório, considerando consumo mensal mínimo de 7,5 m<sup>3</sup> água.

#### 5.3.1 Cenário 1

Neste cenário foi considerada uma área de captação de água do telhado de 60 m<sup>2</sup>, em telha cerâmica, considerando-se um reservatório de 16.000 litros de água, inicialmente cheio. Os resultados do dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl para um consumo mensal por família igual a 7,5 m<sup>3</sup> de água, para uma área de captação do telhado de 60 m<sup>2</sup>

Mês	P <sub>m</sub> (mm/mês)	D <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> /mês)	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /mês)	ΔV = D <sub>c</sub> - V <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /mês)	ΔV <sub>a</sub> (m <sup>3</sup> /mês)	Obs.
Jan	99,07	7,5	60	5,05	2,45	2,45	B
Fev	86,58	7,5	60	4,42	3,08	5,53	B
Mar	109,89	7,5	60	5,60	1,90	7,43	B
Abr	54,10	7,5	60	2,76	4,74	12,17	B
Mai	15,09	7,5	60	0,77	6,73	18,90	B
Jun	5,67	7,5	60	0,29	7,21	26,11	B
Jul	2,96	7,5	60	0,15	7,35	33,46	B
Ago	2,92	7,5	60	0,15	7,35	40,81	B
Set	14,48	7,5	60	0,74	6,76	47,57	B
Out	62,48	7,5	60	3,19	4,31	51,88	B
Nov	200,62	7,5	60	10,23	-2,73	49,15	S
Dez	147,60	7,5	60	7,53	-0,03	49,12	S
<b>TOTAL</b>	<b>801,48</b>	<b>90,0</b>		<b>40,88</b>	<b>49,12</b>		

B: Nível de água baixando; S: Nível de água subindo; P<sub>m</sub> : Precipitação média da tabela 4; D<sub>c</sub> : Demanda de consumo;

A<sub>c</sub> : Área de captação; V<sub>p</sub> : Volume precipitado; ΔV : Diferença entre demanda e volume precipitado; ΔV<sub>a</sub> : ΔV acumulada.

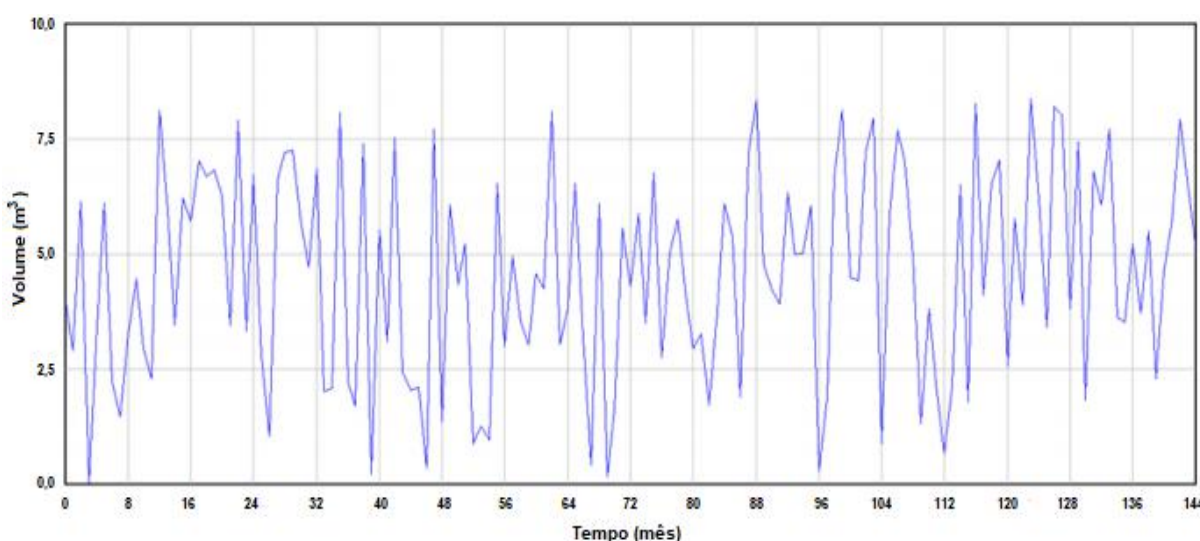
Fonte: GONÇALVES, 2006.

Analisando-se os dados na Tabela 5, é possível observar que, na situação atual, o reservatório atenderia plenamente o consumo familiar até o mês de abril e, aproximadamente, meados do mês de maio. Nestas condições, voltaria a atender a demanda em sua plenitude apenas em novembro.

Considerando-se a média da quantidade de chuva no período analisado, entre o ano de 2004 e 2016, para que haja abastecimento de água durante todo o ano, seria necessário um reservatório de, aproximadamente, 52.000 litros de água.

A variação da precipitação pluviométrica ao longo do período analisado, que é a causa principal da interrupção da disponibilidade de água justamente no período mais crítico da seca, entre junho e outubro de cada ano, é apresentada na Figura 16.

Figura 16 – Variação da quantidade de chuva no período de 2004 a 2016 no Alto Vale do Jequitinhonha

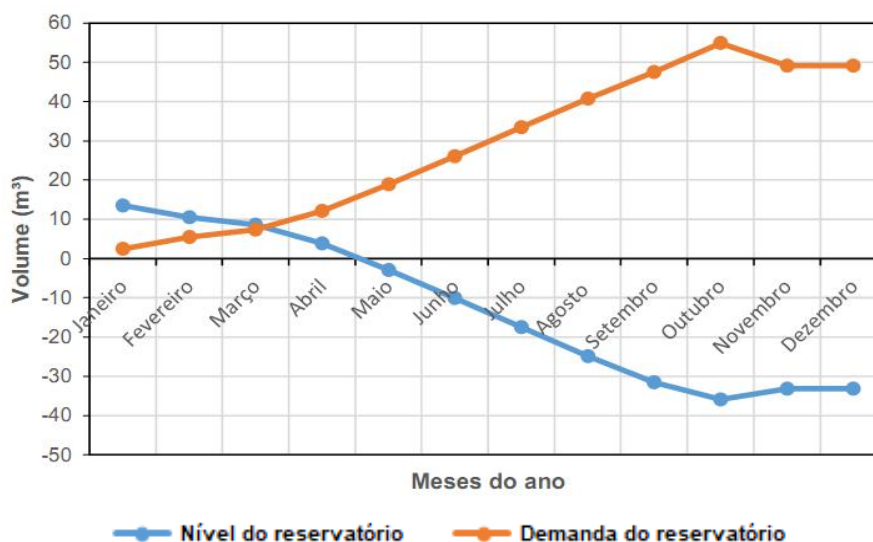


Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

A comparação da demanda de água e da capacidade do reservatório de 52.000 litros, para uma área de captação do telhado de 60 m<sup>2</sup> é apresentada na Figura 17. Observa-se, claramente, o crescente aumento da diferença entre o nível do reservatório e a demanda mensal de água.

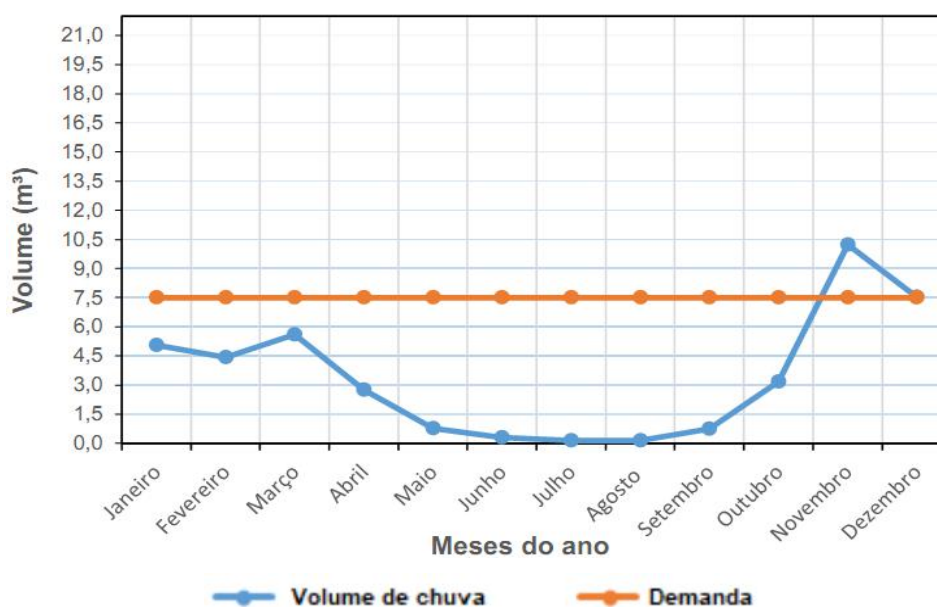
Uma comparação entre o volume precipitado mensalmente e o consumo mensal de água por família ( $7,5 \text{ m}^3$ ) na região do Alto Vale do Jequitinhonha, ao longo dos meses, é apresentada na Figura 18.

Figura 17 – Dimensionamento do reservatório para área de captação de água da chuva igual a  $60 \text{ m}^2$  no Alto Vale do Jequitinhonha



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Figura 18 – Comparação entre a demanda de água por família ( $7,5 \text{ m}^3$ ) e a quantidade de chuva mensal na região do Alto Vale do Jequitinhonha para uma área de captação de  $60 \text{ m}^2$



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.



### 5.3.2 Cenário 2

Neste cenário a área de captação de água do telhado foi de 120 m<sup>2</sup>, em telha cerâmica, considerando-se um reservatório de 16.000 litros de água, inicialmente cheio. O dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 - Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl para um consumo mensal por família igual a 7,5 m<sup>3</sup> de água, para uma área de captação do telhado de 60m<sup>2</sup> para 120 m<sup>2</sup>

Mês	P <sub>m</sub> (mm/mês)	D <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> /mês)	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /mês)	$\Delta V = D_c - V_p$ (m <sup>3</sup> /mês)	$\Delta V_a$ (m <sup>3</sup> /mês)	Obs.
Jan	99,07	7,5	120	10,11	-2,61	-2,61	S
Fev	86,58	7,5	120	8,83	-1,33	-3,94	S
Mar	109,89	7,5	120	11,21	-3,71	-7,65	S
Abr	54,10	7,5	120	5,52	1,98	-5,66	B
Mai	15,09	7,5	120	1,54	5,96	0,30	B
Jun	5,67	7,5	120	0,58	6,92	7,22	B
Jul	2,96	7,5	120	0,30	7,20	14,42	B
Ago	2,92	7,5	120	0,30	7,20	21,62	B
Set	14,48	7,5	120	1,48	6,02	27,64	B
Out	62,48	7,5	120	6,37	1,13	28,77	B
Nov	200,62	7,5	120	20,46	-12,96	15,80	S
Dez	147,60	7,5	120	12,55	-5,05	10,76	S
<b>TOTAL</b>	<b>801,48</b>	<b>90,0</b>		<b>79,24</b>	<b>10,76</b>		

B: Nível de água baixando; S: Nível de água subindo; P<sub>m</sub>: Precipitação média; D<sub>c</sub>: Demanda de consumo;

A<sub>c</sub>: Área de captação; V<sub>p</sub>: Volume precipitado;  $\Delta V$ : Diferença entre demanda e volume precipitado;  $\Delta V_a$ :  $\Delta V$  acumulada.

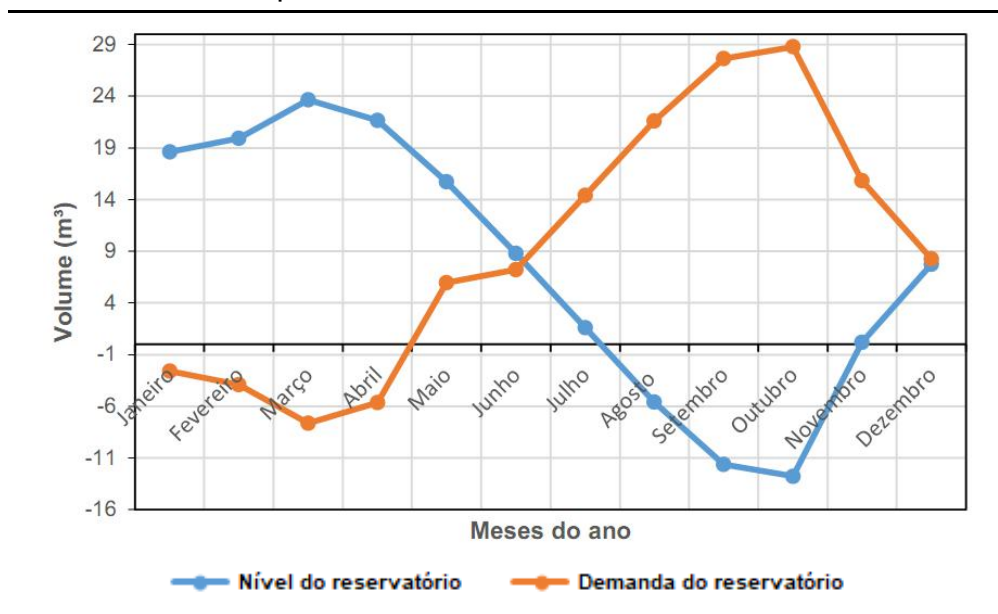
Fonte: GONÇALVES, 2006.

Neste cenário, o reservatório de 16.000 litros teria capacidade de abastecimento de água até seis dias do mês de agosto e somente voltaria a atender plenamente a demanda das famílias no mês de novembro.

A Figura 19 contém os resultados de demanda do reservatório e do nível de água para as precipitações com área de captação de 120 m<sup>2</sup>. Observa-se que, para um consumo mensal de 7,5 m<sup>3</sup> de água, ampliando-se a área de captação do telhado para 120 m<sup>2</sup> seria necessário um reservatório com capacidade de armazenamento

de, aproximadamente, 29.000 litros de água para o atendimento pleno de uma família durante todo o período de estiagem.

Figura 19 - Dimensionamento do reservatório para área de captação de água da chuva igual a 120 m<sup>2</sup> no Alto Vale do Jequitinhonha

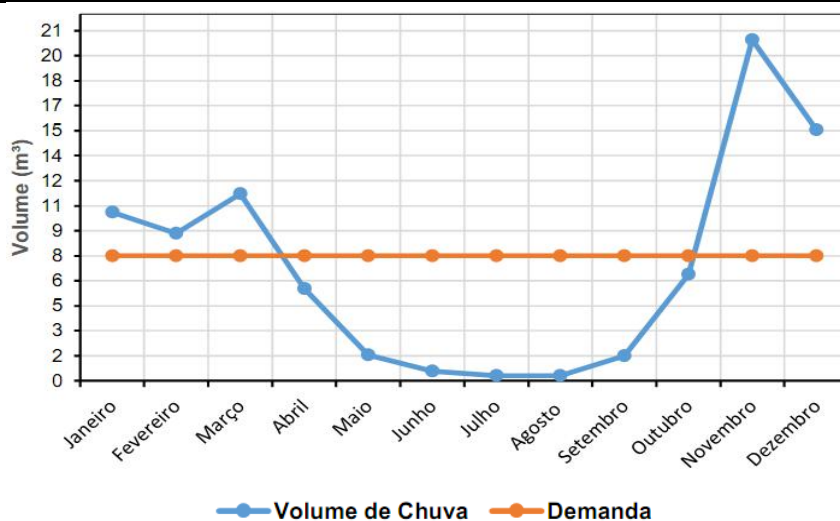


Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Uma comparação entre a quantidade de chuva precipitada mensalmente e a demanda de água por família (7,5 m<sup>3</sup>) na região do Alto Vale do Jequitinhonha, ao longo dos meses, é apresentada na Figura 19. Nestas condições, o volume precipitado mensalmente abasteceria o reservatório até início de julho. Para que houvesse armazenamento suficiente para acumular todo o volume precipitado, e atendimento a todo o período crítico de seca, seria necessário um reservatório com capacidade de armazenamento de 29 m<sup>3</sup>.

Observa-se na Figura 20 que a quantidade de chuva precipitada mensalmente torna-se menor que a demanda em meados de abril. Portanto, há necessidade de captar a chuva precipitada na estação chuvosa e armazená-la para utilização nos meses em que não há chuva, uma vez que a demanda é constante.

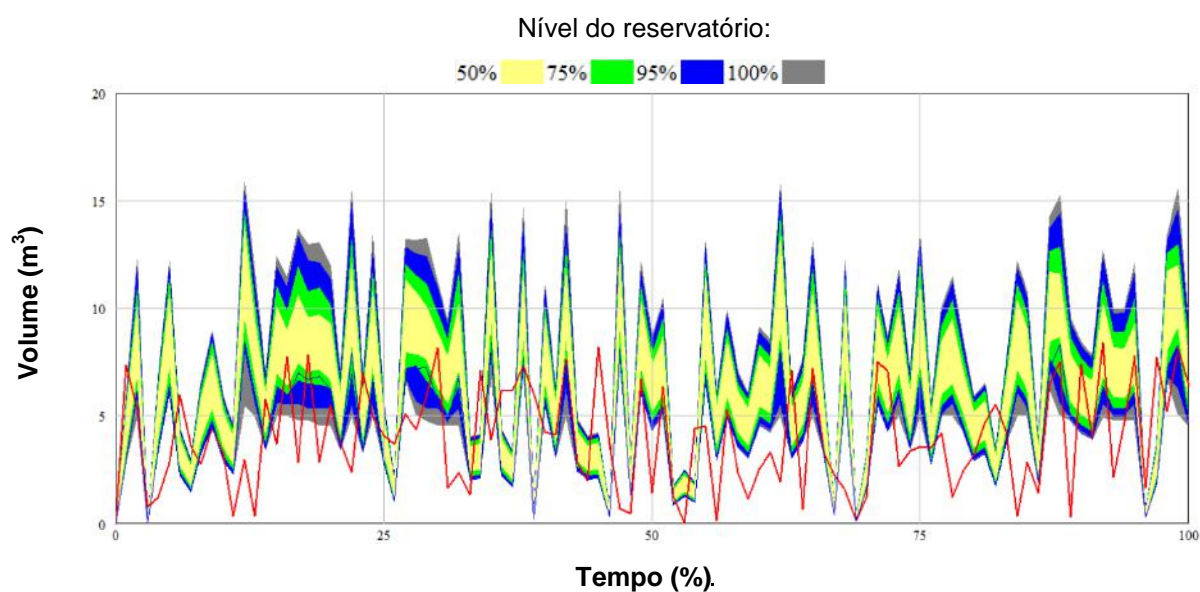
Figura 20 – Comparação entre a demanda de água por família ( $7,5 \text{ m}^3$ ) e a quantidade de chuva mensal na região do Alto Vale do Jequitinhonha para uma área de captação de  $120 \text{ m}^2$



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A variação mensal do nível do reservatório com a ampliação da área de captação de água das chuvas de  $60 \text{ m}^2$  para  $120 \text{ m}^2$ , na região do Alto Vale do Jequitinhonha, é apresentada na Figura 21.

Figura 21 – Variação mensal do nível do reservatório com a ampliação da área de captação de água das chuvas de  $60 \text{ m}^2$  para  $120 \text{ m}^2$  no Alto Vale do Jequitinhonha



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Por meio da análise de sensibilidade, realizada utilizando o programa *Vesim*, foi possível observar a variação no volume de água no sistema de armazenamento em função do aumento na área de captação de água das chuvas 60 m<sup>2</sup> para 120 m<sup>2</sup>.

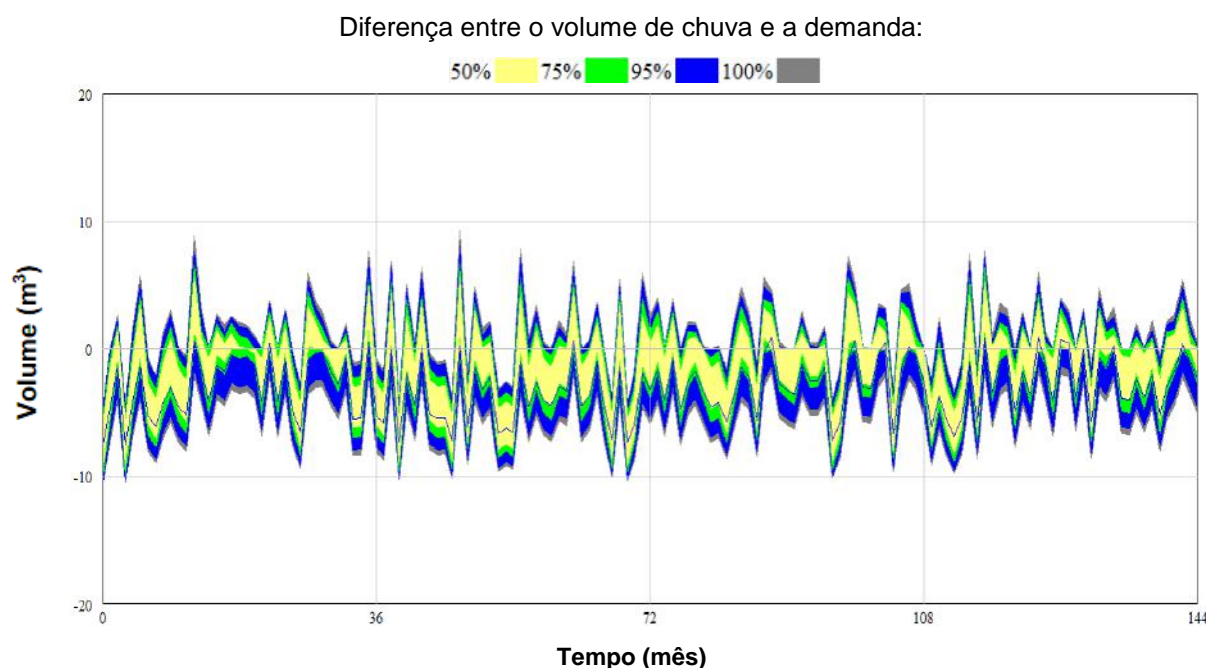
O volume do reservatório com a menor área de captação está representado no gráfico da Figura 21 pela linha vermelha, mostrando que o nível do reservatório, na maioria das vezes, encontra-se abaixo do nível de consumo mínimo recomendado, que é de 7,5 m<sup>3</sup> por família.

Ao considerar a área de captação com 120 m<sup>2</sup>, observa-se uma melhoria considerável no sistema de armazenamento, em que na maior parte do tempo o reservatório encontra-se com um volume de água próximo ao do volume mínimo recomendado para o consumo.

### 5.3.3 Cenário 3

Neste cenário foi analisada a influência da quantidade de pessoas na residência diretamente sobre o nível do reservatório. A variação entre a quantidade de chuva e a demanda, para uma residência com 3 a 7 habitantes, é apresentada na Figura 22. Neste caso, como a demanda individual é fixa, há um aumento proporcional da demanda com o aumento do número de habitantes nas residências.

Figura 22 – Diferença entre o volume de chuva e a demanda para uma residência com número de consumidores entre 3 a 7 com ampliação da área de captação de água das chuvas de 60 m<sup>2</sup> para 120 m<sup>2</sup> no Alto Vale do Jequitinhonha



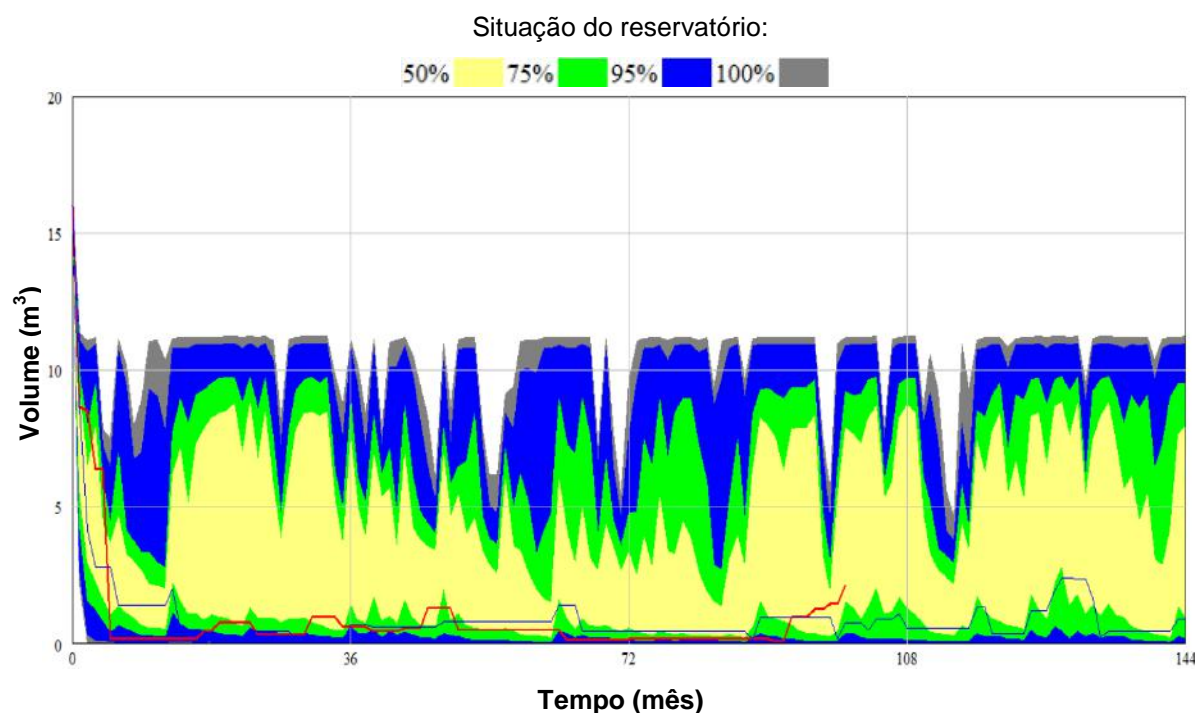
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

#### 5.3.4 Cenário 4

A variação do nível do reservatório, quando o consumo de água *per capita* aumenta de 20 L/dia para 40 L/dia, é apresentada na Figura 23. Neste caso, ocorrerá uma redução de forma significativa no nível do reservatório durante o período de seca.

Em todo este trabalho foi considerado um consumo *per capita* de 50 L/dia. Todavia, este valor é muito baixo e qualquer descontrole de um dos usuários afetará, diretamente, o nível do reservatório, com redução da quantidade de água disponibilizada durante o período de seca, bem como irá influenciar os resultados da disponibilidade de recursos hídricos futuros, provenientes da captação de água das chuvas, conforme pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 – Situação do nível do reservatório no caso de haver variação no consumo *per capita* de água no Alto Vale do Jequitinhonha



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

#### 5.4 Considerações finais

Os resultados obtidos neste trabalho permitem vislumbrar uma possível solução para minimizar os problemas de abastecimento de água para consumo residencial, na região do Alto Vale do Jequitinhonha, que consiste na construção de um sistema de captação de água das chuvas composto por um terreiro concretado, comumente denominado de “*cisterna calçadão*”, conforme mostrada na Figura 24, tal como ela é implantada na atualidade, na região semiárida brasileira. Uma ilustração de construção de uma “*cisterna calçadão*” é apresentada na Figura 25, como proposta para aumentar a área de captação de água das chuvas.

Esta tecnologia vem sendo bastante difundida na região Nordeste do Brasil por instituições não governamentais com resultados satisfatórios (ASA, 2016). Embora não seja uma tecnologia nova, ela pode ser melhorada com o desenvolvimento de um processo de dimensionamento mais adequado do sistema de captação de água das chuvas e do reservatório, em função de algumas variáveis essenciais,



principalmente o número de usuários. Algumas inovações também são possíveis, mas é necessário um estudo criterioso sobre a viabilidade técnica e econômica destas inovações.

Figura 24 – Sistema de captação de água de chuvas implantado em uma residência na região semiárida brasileira.

---



Fonte: ASA, 2014.

Figura 25 – Sistema de captação e de armazenamento de água das chuvas por meio de cisterna do tipo calçadão.

---



Fonte: ASA, 2016.

## 6 CONCLUSÕES

A quantidade mínima de água *per capita* recomendada pela Organização Mundial da Saúde é de 50 L/dia, para satisfazer às necessidades básicas das pessoas. Sabe-se que é muito difícil sobreviver com esta quantidade de água, para a maioria das pessoas da sociedade moderna. Todavia, a disponibilidade desta quantidade de água *per capita* é o sonho de grande parte dos moradores da zona rural do município de Turmalina, na Região do Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. A escassez de água na região semiárida brasileira é rotineira e dificulta muito a permanência do homem no campo.

A utilização dos programas *Vensim PLE 6.3* e do *Microsoft Excel*, permitiu analisar, com eficiência, os dados utilizados neste trabalho e obter resultados significativos, que possibilitaram redimensionar, de forma mais adequada, o sistema de captação e armazenamento de água das chuvas para a região semiárida brasileira por meio de simulação de vários cenários.

Como a ocorrência de chuvas concentra-se em um período curto de tempo durante o ano, o volume do reservatório atualmente utilizado não é suficiente para atender a demanda durante todo o período de estiagem. Portanto, propõe-se melhorias na gestão do abastecimento de água das comunidades rurais no município de Turmalina, na região do Alto Vale do Jequitinhonha, por meio do redimensionamento dos sistemas de captação e armazenamento de água das chuvas.

Os resultados deste trabalho mostraram que, para uma área de captação de 120 m<sup>2</sup>, os reservatórios necessitam ser reabastecidos a partir do mês de julho até o mês de outubro, pois no mês de novembro inicia-se o novo período chuvoso. Desta forma, caberia às comunidades rurais, em parceria com o poder público local, buscar outras opções de abastecimento durante quatro meses do ano.

Como possível solução para minimizar os problemas de abastecimento de água para consumo residencial, na região do Alto Vale do Jequitinhonha, recomenda-se a construção de terreiro concretado, denominado de “*cisterna calçada*”, e



reservatórios, adequadamente dimensionados em função, principalmente, do número de usuários.

Para mitigação dos efeitos da indisponibilidade de água para o consumo mínimo para sobrevivência das pessoas no meio rural, propõe-se uma readequação do dimensionamento dos sistemas de captação e dos reservatórios de água das chuvas, que devem ter capacidade de armazenamento para 30.000 litros de água. Outra possibilidade é a ampliação da área dos telhados para captação de água das chuvas para, pelo menos, 120 m<sup>2</sup>. Desta forma, para as condições analisadas, a demanda mínima de água recomendada de 7,5 m<sup>3</sup> por mês, para uma família de 5 pessoas, seria atendida durante todo o ano.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: água de chuva: aproveitamento de áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007. 8 p.

AGUAPARÁ - SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO PARÁ. **Educação Ambiental para Conservação dos Recursos Hídricos [II]**: reuso da água da chuva. Belém, 2005. (Série Relatórios Técnicos, n. 4).

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil = **The Evolution of Water Resources Management in Brazil**. Brasília, DF: ANA, 2002.

ARRUDA-D'ALVA, O.; FARIAS, L. O. P. **Programa cisternas**: um estudo sobre a demanda, cobertura e focalização. Cadernos de Estudos. Desenvolvimento social em debate. Número 7. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome, Secretaria de Avaliação e Gestão, 2008. 40 p.

ARTICULAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO (Brasil). Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br/>>. Acesso em: 9 out. 2016.

BASTOS, F. P. **Tratamento de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção UV**. 2007. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2007.

BLOK, V. *et al.* From best practices to bridges for a more sustainable future: advances and challenges in the transition to global sustainable production and consumption. Introduction to the ERSCP stream of the Special volume. **Journal of Cleaner Production**, 2015.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acesso em: 15 jun. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

BRASIL. **Portaria nº 518 de 25 de março de 2004**. Ministério da Saúde. 2004. Disponível em <<http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>>. Acesso em: 28 set. 2016.

BRASIL. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas, 2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm). Acesso em: 19 ago. 2017.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil, Art. 225**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRITO, L. T. L.; PORTO, E. R. Cisterna rural: água para consumo humano. 1º Simpósio sobre Captação de Água de chuva no Semi-árido Brasileiro. EMBRAPA. Petrolina, Pernambuco, 17-21/11/1997.

CUNHA, A. H. N. **O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país.** Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13; 2011 Pág. 1225 à 1248.

CURITIBA. **Decreto Nº 293, Lei Nº 10785, de 18 de setembro de 2003.** Regulamenta a Lei No 10.785/03 e dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água nas edificações e dá outras providências. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/lei-ordinaria/2003/10785/10785/lei-ordinaria-n-10785-2003-cria-no-municipio-de-curitiba-o-o-programa-de-conservacao-e-uso-racional-da-agua-nas-edificacoes-purae>. Acesso: 20 de agosto, 2017.

DIAS, R. B. **Tecnologia Social e Desenvolvimento Local: Reflexões a partir da análise do Programa.** Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional. Blumenau, n.1(2), p. 173-189, 03 Dezembro 2013.

DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 15, p. 59 — 68, Abr/Jun 2010.

DUARTE, R. **A seca nordestina de 1998-1999: da crise econômica à calamidade social.** Recife, Pernambuco. Sudene. 1999.

GLEICK, P. **The Human Right to Water.** In: Water Policy 1(5), p. 487-503, Elsevier Science Ltd., 1999.

GOMES, U. A. et al. **A Captação da Água das Chuvas no Brasil: Novos Aportes a partir de um Olhar Internacional.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos v.19, n.1, p.7-16, 2014.

GONÇALVES, R. F. **Uso Racional da Água em Edificações.** Rio de Janeiro. ABES. 2006.

HEDDEN, S. **Parched Prospects II – A Revised long – term water supply and demand forecast for South Africa.** Institute for Security Studies. African Futures Paper 16. March 2016.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Índices Pluviométrico.** Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima>. Acesso em: 10 out. 2016.

JARDIM, C. H. **A “Crise Hídrica” no Sudeste do Brasil: Aspectos Climáticos e Repercussões Ambientais.** Revista Tamoios, ano 11, n.2, p.67-83, jul/dez. 2015.

KIRKWOOD, C. W. **System Dynamics Methods: A Quick Introduction.** Arizona State University, Tempe, AZ. 1998. Disponível em: <http://www.public.asu.edu/%7Ekirkwood/sysdyn/SDIntro/SDIntro.htm>. Acesso: 22 de agosto, 2017.

LEUCK, M. F. **Avaliação Econômica de Impacto de Medidas Individualizadas de Conservação de Água em Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2008.

LIAW, C. H.; CHIANG, Y. C. **Framework for Assessing the Rainwater Harvesting Potential of Residential Buildings at a National Level as an Alternative Water Resource for Domestic Water Supply in Taiwan**. Department of Harbor and River Engineering, National Taiwan Ocean University. Water 6. 23 October 2014.

MAGALHÃES, J. R.; NETTO, O. M. C; NASCIMENTO; N. O. **Os indicadores como instrumentos potenciais de gestão das águas no atual contexto legal institucional do Brasil — Resultados de um painel de especialistas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 8, n. 4, p. 53-58. 2003.

OCANA, E. R. O.; DOMINGUEZ, I.; WARD, S.; SANCHEZ, M. L. R.; PENHA, J. M. Z. **Financial feasibility of end-user designed rainwater harvesting and greywater reuse systems for high water use households**. Developments in Water Management Technologies and Systems. 30 March 2017.

ONESDB/UNCTT. **Office of the National Economic and Social Development Board**. United Nations Country Team in Thailand. Thailand Millennium Development Goals Report 2004, 92 p., Bangkok, Thailand. 2004.

ONU - **Organização das Nações Unidas. O Direito Humano à Água e Saneamento**. Objetivo de Desenvolvimento do Milênio 7. Assembleia Geral das Nações Unidas, 28 de julho de 2010. Resolução A/RES/64/292. 2010. Disponível em: [http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_media\\_brief\\_por.pdf](http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf). Acesso: 20 de agosto, 2017.

ONU. **Organização das Nações Unidas. RIO+20 - Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://noticias.r7.com/rio-de-janeiro/noticias/rio-20-onu-tenta-definir-em-3-dias-temas-discutidos-ha-2-anos-20120613.html>. Acesoo: 20 de agosto, 2017.

PALMIERI, L. R. **A necessidade das bacias experimentais para a avaliação da eficiência de técnicas alternativas de captação de água da chuva na região semiárida do Brasil**. In. 3º Simpósio brasileiro de captação de água da chuva no semiárido. João Pessoa, Paraíba. 2001.

PMSS. **Programa de Modernização do Setor Saneamento**. Programa Nacional Combate ao Desperdício de Água - PNCDA, Governo Federal, Ministérios das Cidades, Brasília, DF, 2003. Disponível em: <http://www.pmss.gov.br/>. Acesso: 20 de agosto, 2017.

PORTO, E. R. et al. **Captação e Aproveitamento de Água de Chuva na Produção dos Pequenos Produtores do Semi-árido Brasileiro: O Que Tem Sido Feito e como Ampliar sua Aplicação no Campo**. Centro de Pesquisa do Trópico Semiárido (CPATSA), 1999. Disponível em: <http://www.cpatosa.embrapa.br/catalogo/doc/agriculture>. Acesso em: 26 de novembro, 2016.

RADZICKI, M. J.; TAYLOR, R. A. **Origin of System Dynamics**. In: U.S. Department of Energy's Introduction to System Dynamics, 2008. Disponível em: <http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/start.htm>. Acesso: 22 de agosto, 2017.

REBOUÇAS, A. C. **Águas Doce no Mundo e no Brasil**. In: Águas Doces do Brasil. Aldo da Cunha Rebouças [et al.] (Org). Escrituras Editora. 1999.

RIO DE JANEIRO. **Decreto N.º 23.940 de 30 de janeiro de 2004**. Torna obrigatório, nos casos previstos, a adoção de reservatórios que permitam o retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/topicos/24842955/artigo-1-do-decreto-n-23940-de-30-de-janeiro-de-2004-do-municipio-do-rio-de-janeiro>. Acesso: 20 de agosto, 2017.

SANTOS, M. J. **Programa um milhão de cisternas rurais – Proposição de um sistema de indicadores de avaliação de sustentabilidade – SIAVS-P1MC**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2010.

SCHISTEK, H. **Como conviver com o semi-árido**. In Caritas Brasileira, Comissão Pastoral da Terra, FIAN. Água de chuva – o segredo de convivência com o semi-árido. São Paulo, Paulinas. 2001.

SIQUEIRA-CAMPOS, M. A. **Aproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Carlos**. 131p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2004.

SCHILLER E.; LATHAM, B. **Computerized methods in optimizing rainwater catchment systems**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAINWATER CISTERN SYSTEMS, 1st, 1982, Honolulu, United States. Proceedings... Honolulu: IRCSA, 1982.

SMITH, H. H. **Effects of various factors on the sizing of rain water cistern systems**. Technical Report No. 19, Water Resources Research Institute, University of the Virgin Islands, St. Thomas, U.S.A., Virgin Islands. 1984.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água das chuvas**. Navegar Editora. São Paulo, SP. 2003.

TSUTITYA, M. **Abastecimento de água**. 2. ed., Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2005.

UNEP. United Nations Environment Programme. **Rainwater harvesting: a lifeline for human wellbeing**. A report prepared for UNEP by Stockholm Environment Institute. 69p. 2009.

VIEIRA, W. C. Dinâmica de sistemas aplicada à gestão de recursos hídricos em bacia hidrográfica. Revista de Economia e Agronegócio, v.6, n.3. 2008.

WANJIRU, E. M; XIA. X. **Energy-water optimization model incorporating rooftop water harvesting for lawn irrigation**. Applied Energy. Vol.160, 15 December 2015. Pages 521-531.

ZHU, K.; ZHANG, L.; HART, W.; LIU, M.; CHEN, H. **Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China.** *Journal of Arid Environments*, v. 57, p. 487—505. 2004.

ZHU, Q.; YUANHONG, L. **A sustainable way for integrated rural development in the mountainous area in China.** In VII Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 2009, Caruaru, PE. ABCMC. 2009.