



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CAMPUS BALSAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

LUANA DA COSTA FERREIRA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA PARA FINS NÃO
POTÁVEIS EM UMA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS NO
MUNICÍPIO DE BALSAS**

**BALSAS - MA
2019**

Luana da Costa Ferreira

Análise da viabilidade econômica do aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis
em uma indústria de laticínios no município de Balsas

Trabalho de Conclusão de Curso na
modalidade Monografia, submetido à
Coordenação de Engenharia Civil da
Universidade Federal do Maranhão como parte
dos requisitos necessários para obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^o. Me. Vinícius Farias de Albuquerque

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Da Costa Ferreira, Luana.

Análise da viabilidade econômica do aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis em uma indústria de laticínios no município de Balsas / Luana Da Costa Ferreira. - 2019.

132 f.

Orientador(a): Vinícios Farias de Albuquerque.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Maranhão, Balsas, 2019.

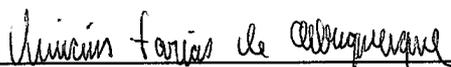
1. Análise econômica. 2. Reservatório. 3. Sistema de aproveitamento de água de chuva. I. Farias de Albuquerque, Vinícios. II. Título.

Luana da Costa Ferreira

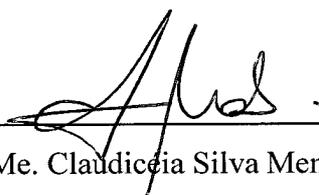
Análise da viabilidade econômica do aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis
em uma indústria de laticínios no município de Balsas

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 30 / 01 / 2019.



Prof.º. Me. Vinícius Farias de Albuquerque – Orientador



Prof.º. Me. Claudiceia Silva Mendes – Examinador interno



Prof.º. Me. Leandro Gomes Domingos – Examinador interno

Balsas-MA

2019

Aos meus pais, Luzia Costa e Domingos
Ferreira, por acreditarem e me apoiarem
sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradecer a Deus pelo o dom da vida.

À Universidade Federal do Maranhão – Campus Balsas por ceder os recursos físicos e humanos para a implantação do curso de Engenharia Civil na cidade de Balsas/MA.

À Coordenação do Curso de Engenharia, Prof^ª. Me. Claudicéia Mendes, pelos desafios enfrentados para que o curso de Engenharia Civil se firmasse e para que nós, alunos da primeira turma do curso, pudéssemos concluir o curso.

Ao Coordenador de TCC, Prof^º. Me. Leandro Gomes Domingos pelas correções e orientações realizadas para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof^º. Me. Vinícius Farias pelo apoio e orientação.

À Joelma, gerente da Cooperativa, pela recepção e por todas as informações repassadas sobre o processo produtivo e o uso da água na indústria de laticínio.

Aos professores Willame Braga Lima e Francisco Cunha por darem as mãos a nós e caminharmos juntos enfrentando todas as dificuldades de um curso em implantação, e mesmos assim nos incentivavam a cada aula e afirmavam que nós éramos capazes e que iríamos conseguir realizar nossa meta de formar em Engenharia Civil. Aos senhores, o meu apreço e a minha admiração. Muito obrigada!

Aos meus colegas de turma, obrigada pelas risadas, pelo apoio nos momentos de dificuldades e pela graça de ter convivido com vocês esse período!

Aos meus amigos e familiares pelo carinho e incentivo. Em especial aos meus pais, minha razão maior pra conseguir vencer todas as dificuldades, e a meu namorado pelo companheirismo e incentivo de sempre.

RESUMO

A indústria de laticínios é uma das indústrias de alimentos que tem o maior consumo de água, tanto na produção, quanto na higienização. A escassez de água potável se acentua a cada dia, e traz uma preocupação constante na busca por alternativas. Assim sendo, a implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis tem se apresentado como uma opção vantajosa em virtude da simplicidade de implantação do sistema e da possibilidade de captação de grandes volumes de chuvas, a depender da região de implantação e da área de coleta de chuva. Portanto, o objetivo deste estudo é analisar a viabilidade econômica de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em uma indústria de laticínios no Município de Balsas, Maranhão. A metodologia se dividiu em caracterização do local de estudo, levantamento de dados da indústria como demanda de água e área para a coleta da água da chuva, dimensionamento do volume do reservatório para aproveitamento de água da chuva, através dos métodos determinados pela NBR 15527/2007 e pelo programa Netuno, dimensionamento de calhas, condutores e conjunto motobomba para o SAAP proposto e por fim a análise econômica através dos métodos Valor Presente Líquido, Relação Benefício/Custo e Período de Retorno do Investimento. A demanda de água potável a ser substituída por água de chuva foi água usada para a limpeza dos ambientes da indústria, um total de 690 m³/ano. Os volumes de reservatórios encontrados através dos métodos da NBR 15527/2007 foi 235,77 m³ o maior volume e 37,47 m³ o menor volume. Sendo o maior volume inviável de implantação e o menor volume apresentou uma eficiência de 58%. O volume ideal apresentado pelo o software Netuno foi de 20 m³, com eficiência de 49,97% para o período chuvoso e 53,62 % para o período de estiagem. O volume escolhido para o reservatório inferior foi 20 m³ para o SAAP proposto para implantação. Este sistema conta também com quatro calhas semicirculares de 150 mm de diâmetro interno, quatro condutores verticais com diâmetro de 100 mm e os condutores horizontais com diâmetros internos de 150 e 200 mm, além de duas motobomba de 0,5 CV e um reservatório superior com volume de 3 m³. O custo total para implantação do sistema foi de R\$ 33.572,83 e o benefício total para o cenário conservador foi de 22.700,37, considerando o tempo de horizonte ou vida útil do sistema de 20 anos. Em relação à análise econômica foi verificado que o SAAP proposto é inviável economicamente, pois o tempo de retorno do investimento é maior que o período de vida útil do sistema, a relação B/C<1 e o VPL apesar de ser positivo (VPL>0), o período para o qual foi realizado o somatório (*Payback* para o cenário conservador) é maior que o tempo de horizonte o que torna o sistema inviável de implantação economicamente nas condições analisadas.

Palavras-chave: Sistema de aproveitamento de água de chuva; Reservatório; Análise econômica.

ABSTRACT

Dairy industry is one of food industries that has highest consumption of water, both in production and in sanitation. The shortage of drinking water is increasing every day, and brings a constant concern in search for alternatives. Therefore, implantation of rainwater harvesting systems for non-potable purposes has been presented as an advantageous option due to the simplicity of the system and possibility of capturing large volumes of rainfall, depending on the region of implantation and rainfall collection area. Therefore, the objective of this study is to analyze economic feasibility of implementing a non-potable water harvesting system in a dairy industry in Balsas, Maranhão. Methodology was divided into characterization of study site, survey of industry data such as water demand and area for rainwater harvesting, reservoir size for rainwater harvesting, using methods determined by NBR 15527 / 2007 and by Neptune program, sizing of ducts, conductors and motor pump assembly for the proposed SAAP and finally the economic analysis through the methods Net Present Value, Benefit / Cost Ratio and Return Period of Investment. The demand for drinking water to be replaced by rainwater was water used for cleaning of industrial environments, a total of 690 m³ / year. The volumes of reservoirs found through the methods of NBR 15527/2007 were 235.77 m³ the largest volume and 37.47 m³ the smallest volume. As the largest volume of implantation was unfeasible, the lowest volume had an efficiency of 58%. The volume presented by the Neptune software was 20 m³, with an efficiency of 49.97% for the rainy season and 53.62% for the dry season. The volume chosen for the lower reservoir was 20 m³ for the proposed SAAP for implantation. This system also has four semi-circular rails of 150 mm internal diameter, four vertical conductors with a diameter of 100 mm and the horizontal conductors with internal diameters of 150 and 200 mm, in addition to two motor pumps of 0,5 CV and an upper reservoir with volume of 3 m³. The total cost for the implementation of the system was R \$ 33,572.83 and the total benefit for the conservative scenario was 22,700.37, considering the horizon time or useful life of the system of 20 years. In relation to the economic analysis it was verified that the proposed SAAP is economically impracticable, since the time of return of the investment is greater than the useful life of the system, the ratio B / C <1 and NPV even though it is positive (NPV > 0), the period for which the summation was performed (Playback for the conservative scenario) is greater than the horizon time which makes the system impracticable to be economically implemented under the conditions analyzed.

Key words: Rainwater harvesting system; Reservoir; Economic analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação em termos percentuais das diferentes destinações da água subterrânea no município Balsas/MA	24
Figura 2 - Pedra Mohabita (a) e Fortaleza dos Templários (b)	25
Figura 3 - Fluxograma do funcionamento do SAAP	26
Figura 4 - Tipos de SAAP: (a) sistema de fluxo total, (b) sistema com derivação, (c) sistema com volume adicional de retenção e (d) sistema com infiltração no solo	33
Figura 5 - Sistema de captação de água de chuva com reservatório inferior e superior	35
Figura 6 - Representação do sistema de condução de água de chuva: calha, condutor vertical e condutor horizontal	36
Figura 7 - Tipos de calhas: (a) calha de beiral, (b) calha de platibanda e (c) calha de água furtada	37
Figura 8 - Representação de calhas, condutor vertical e conexões	37
Figura 9 - (a) calha de PVC rígido, (b) calha de zinco e (c) calha de aço galvanizado	38
Figura 10 - Tubo e conexões de PVC	39
Figura 11 - (a) caixa de inspeção e (b) caixa de areia	39
Figura 12 - Grelha flexível	40
Figura 13 - Grade sobre calha	40
Figura 14 - Filtros: (a) filtro VS1 3P Technik (b) sistema de filtração para grande vazão utilizando caixa de 1000 L	40
Figura 15 - Dispositivo de descarte da primeira chuva: sistema first flush	41
Figura 16 - dispositivo de descarte da primeira chuva: (a) SafeRain e (b) funcionamento do SafeRain	41
Figura 17 - Esquema ilustrativo de reservatório de autolimpeza	41
Figura 18 - (a) reservatório enterrado e (b) reservatório apoiado	43
Figura 19 - Localização da Unidade de Laticínio	46
Figura 20 - Ilustração do processo de transporte a armazenagem do leite na cooperativa: (a) caminhão tanque de transporte do leite, (b) transporte em tambores, (c) e (d) plataforma de recepção do leite, (e) análise da qualidade do leite e (f) tanques de recepção, filtragem, resfriamento e estocagem do leite	48
Figura 21 - (a) Poço semi-artesiano e (b) reservatório de água da indústria	49
Figura 22 - Indicação para cálculo da área de contribuição de superfície inclinada	50

Figura 23 - Interface do programa Netuno 4	56
Figura 24 - Ilustração do volume de descarte inicial de água de chuva	57
Figura 25 - Interface principal para carregar os dados de precipitação pluviométrica e iniciar o processo de entrada de dados	57
Figura 26 - Interface do Netuno 4 para demanda total de água: (a) demanda fixa, (b) demanda variável, (c) demanda variável opção diária e (d) demanda variável opção mensal	58
Figura 27 - Interface do Netuno 4 para percentual da demanda total a ser suprida por água pluvial: (a) escolha de valores predefinidos em intervalo de 10%, (b) opção para escolher outro valor e (c) local da inserção de outro valor	59
Figura 28 - Interface do Netuno 4 para reservatório inferior: (a) campo de entrada do reservatório superior e (b) Opção de entrar com o volume do reservatório	60
Figura 29 - Interface do Netuno 4 para reservatório superior para a opção simulação para reservatório com volume conhecido	61
Figura 30 - Interface do Netuno 4 para reservatório superior para a opção simulação para reservatórios com diversos volumes	62
Figura 31 - Ábaco para determinação do diâmetro dos condutores verticais para calhas com saída em aresta viva	65
Figura 32 - Ábaco para determinação do diâmetro dos condutores verticais para calhas com funil de saída	66
Figura 33 - Precipitação média anual (1982 a 2017)	74
Figura 34 - Precipitação média mensal (1982 a 2017)	75
Figura 35 - Precipitação média anual (2007 a 2017)	75
Figura 36 - Precipitação média mensal (2007 a 2017)	75
Figura 37 - (a) Dados de entrada do campo demanda total de água e (b) volume escolhido para o reservatório superior	87
Figura 38 - Simulação para o volume de reservatório encontrado pelo método de Rippl	88
Figura 39 - Simulação para o volume de reservatório encontrado pelo método de Azevedo Neto	88
Figura 40 - Simulação para o volume de reservatório encontrado pelo método prático inglês	86
Figura 41 - Simulação para o volume de reservatório encontrado pelo método prático alemão	86
Figura 42 - Simulação para o volume de reservatório encontrado pelo método australiano	90

Figura 43 - Potencial de economia de água potável por meio do uso de água pluvial em função dos diversos volumes de reservatório – (a) para demanda no período chuvoso e (b) para demanda no período de estiagem	91
Figura 44 - Consumo de água pluvial em função dos diversos volumes de reservatório – (a) para demanda no período chuvoso e (b) para demanda no período de estiagem	92
Figura 45 - Percentual de atendimento de água pluvial em função dos diversos volumes de reservatório – (a) para demanda no período chuvoso e (b) para demanda no período de estiagem	93
Figura 46 - Volume extravasado de água pluvial em função dos diversos volumes de reservatório – (a) para demanda no período chuvoso e (b) para demanda no período de estiagem	93
Figura 47 - Desenho técnico do reservatório inferior	102
Figura 48 - Desenho técnico do reservatório superior	103
Figura 49 - Motobomba	103
Figura 50 - Curvas características de motobombas Hydrobloc CN	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Uso múltiplos da água por continente (km ³)	22
Tabela 2 - Coeficiente de Runoff médio	27
Tabela 3 - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis	29
Tabela 4 - Parâmetros de intensidade pluviométrica para a estação 00746006 (Balsas/MA)	63
Tabela 5 - Coeficientes de rugosidade	64
Tabela 6 - Capacidades de calhas semicirculares com coeficientes de rugosidade n= 0,011 (Vazão em L/min)	64
Tabela 7 - Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min)	67
Tabela 8 - Consumo de água levantado in loco na indústria	72
Tabela 9 - Demanda de água para limpeza dos ambientes da indústria de laticínios	73
Tabela 10 - Área de contribuição para a coleta de água da chuva	74
Tabela 11 - Volume de Chuva coletado mensal	73
Tabela 12 - Volume de Chuva coletado anual	76
Tabela 13 - Dimensionamento do reservatório pelo Método de Rippl	78
Tabela 14 - Dimensionamento do reservatório pelo Método de Azevedo Neto	75
Tabela 15 - Dimensionamento do reservatório pelo Método Prático Inglês	79
Tabela 16 - Dimensionamento do reservatório pelo Método Prático Alemão	80
Tabela 17 - Dimensionamento do reservatório pelo Método Australiano, volume fixo de 30 m ³	81
Tabela 18 - Dimensionamento do reservatório pelo Método Australiano, volume fixo de 40 m ³	81
Tabela 19 - Dimensionamento do reservatório pelo Método Australiano, volume fixo de 50 m ³	82
Tabela 20 - Dimensionamento do reservatório pelo Método Australiano, volume fixo de 100 m ³	82
Tabela 21 - Dimensionamento do reservatório pelo Método da simulação, volume fixo de 235,77 m ³	83
Tabela 22 - Dimensionamento do reservatório pelo Método da simulação, volume fixo de 163,92 m ³	84
Tabela 23 - Dimensionamento do reservatório pelo Método da simulação, volume fixo de 39,03 m ³	84

Tabela 24 - Dimensionamento do reservatório pelo Método da simulação, volume fixo de 37,47 m ³	85
Tabela 25 - Dimensionamento do reservatório pelo Método da simulação, volume fixo de 40 m ³	82
Tabela 26 - Comparativo do potencial de aproveitamento de água pluvial pelo programa Netuno e eficiência do sistema pelo método da simulação	90
Tabela 27 - Resumo com todos os resultados da simulação – (a) para demanda no período chuvoso e (b) para demanda no período de estiagem	94
Tabela 28 - Intensidade pluviométrica	97
Tabela 29 - Vazão de projeto	98
Tabela 30 - Diâmetro dos condutores horizontais	99
Tabela 31 - Diâmetro das tubulações de recalque e sucção	99
Tabela 32 - Perda de carga na sucção	100
Tabela 33 - Perda de carga no recalque	100
Tabela 34 - Altura manométrica	101
Tabela 35 - Potência do conjunto motobomba	101
Tabela 36 - Especificações técnicas de motobombas submersas 6” sub-rotor fechado	101
Tabela 37 - Custos do SAAP proposto	105
Tabela 38 - Evolução do Custo Nacional da Construção Civil	106
Tabela 39 - Taxa referencial anual	106
Tabela 40 - Taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade	106
Tabela 41 - Economia com energia para o cenário pessimista	108
Tabela 42 - Economia com energia para o cenário conservador	109
Tabela 43 - Economia com energia para o cenário otimista	110
Tabela 44 - Benefício total com a substituição de água potável por água pluvial para os cenários pessimista, conservador e otimista	109
Tabela 45 - Taxa de aumento médio anual do custo da tarifa de energia para indústria na região Nordeste	111
Tabela 46 - Período de retorno do investimento para os cenários pessimista, conservador e otimista	112
Tabela 47 - Relação Benefício/Custo	112
Tabela 48 - Valor Presente Líquido	113
Tabela 49 - Eficiência do sistema para o volume de reservatório V=20 m ³ pelo método da simulação	126

Tabela 50 - Eficiência do sistema para o volume de reservatório $V= 30 \text{ m}^3$ pelo método da
simulação 126

Tabela 51 - Eficiência do sistema para o volume de reservatório $V= 40 \text{ m}^3$ pelo método da
simulação 127

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Variações da qualidade da água de chuva devido ao sistema de coleta	28
Quadro 2 - Classificação e parâmetros do efluente conforme o tipo de reuso	29
Quadro 3 - Técnicas de tratamento de água de chuva	42
Quadro 4 - Materiais para cisternas e suas características	43
Quadro 5 - Período de retorno para projeto de águas pluviais	63
Quadro 6 - Dados de entrada para as simulações de reservatório com volume conhecido	87
Quadro 7 - Dados de entrada para as simulações de reservatório com diversos volumes	91

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
B/C	Relação Benefício/Custo
CSV	valor separado por vírgula
SAAP	Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial
SINAPI	Sistema Nacional de Custos e Índices da Construção Civil
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
TH	tempo de horizonte
TR	taxa referencial
Tr	período de retorno

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS	21
1.1.1	Objetivo Geral	21
1.1.2	Objetivos Específicos	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	DISPONIBILIDADE HÍDRICA E USO DA ÁGUA	22
2.2	SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA.....	25
2.2.1	Coleta da água da chuva	27
2.2.2	Processo de tratamento	28
2.2.3	Armazenamento	30
2.2.4	Distribuição	30
2.4	NORMAS TÉCNICAS.....	31
2.5	PROJETO DE SAAP.....	32
2.5.1	Sistema de condução de água: calhas, condutores verticais e condutores horizontais	36
2.5.2	Unidade de tratamento	39
2.5.3	Reservatório	42
2.6	ESTUDOS SOBRE VIABILIDADE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL	44
3	METODOLOGIA	46
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	46
3.2	PESQUISA DE CAMPO.....	49
3.2.1	Demanda de água não potável na indústria	49
3.2.2	Área de contribuição	50
3.3	ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO	50
3.3.1	Precipitação Pluviométrica	51
3.3.2	Volume de água coletado no telhado	51
3.3.3	Volume do reservatório: métodos da NBR 15.527: 2007	52

3.3.4	Volume do Reservatório: programa Netuno	56
3.4	DIMENSIONAMENTO DAS CALHAS, CONDUTORES E CONJUNTO MOTOBOMBA DO SAAP PROPOSTO	62
3.4.1	Calhas	64
3.4.2	Condutores Verticais	65
3.4.3	Condutores Horizontais	66
3.4.4	Potência do conjunto Motobomba	67
3.5	AVALIAÇÃO ECONÔMICA	68
3.5.1	Custos totais	68
3.5.2	Benefícios totais	69
3.5.3	Valor Presente Líquido (VPL)	70
3.5.4	Relação Benefício/Custo (B/C)	71
3.5.5	Período de Retorno do Investimento (Payback)	71
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.2	CÁLCULO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO	73
4.3	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	74
4.4	VOLUME DE CHUVA COLETADO	76
4.5	VOLUME DO RESERVATÓRIO	76
4.5.1	Método de Rippl	77
4.5.2	Método de Azevedo Neto	78
4.5.3	Método Prático Inglês	79
4.5.4	Método Prático Alemão	79
4.5.5	Método Australiano	80
4.5.6	Método da Simulação	83
4.6	COMPARATIVO DOS MÉTODOS.....	86
4.7	VOLUME DO RESERVATÓRIO PELO PROGRAMA NETUNO	86
4.8	ANÁLISE DOS VOLUMES DO RESERVATÓRIO.....	95
4.9	PROPOSTAS PARA DISPOSIÇÃO DAS CALHAS E DESCIDAS DE ÁGUA PARA OS CONDUTORES VERTICAIS	96
4.10	INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA	97

4.11	VAZÃO DE PROJETO	97
4.12	CALHAS	98
4.13	CONDUTORES VERTICAIS.....	98
4.14	CONDUTORES HORIZONTAIS.....	98
4.15	POTÊNCIA DO CONJUNTO MOTOBOMBA	99
4.16	SELEÇÃO DOS COMPONENTES PARA O SAAP PROPOSTO.....	102
4.17	CUSTOS TOTAIS	104
4.18	BENEFÍCIOS TOTAIS	107
4.19	MÉTODOS PARA ANÁLISE ECONÔMICA	111
4.19.1	Período de Retorno do Investimento.....	112
4.19.2	Relação Benefício/Custo	112
4.19.3	Valor Presente Líquido	113
5	CONCLUSÃO	114
6	RECOMENDAÇÕES	116
	REFERÊNCIAS	117
	APÊNDICE A – LAYOUT DA INDÚSTRIA DE LATÍCÍNIO: PLANTA BAIXA, PLANTA DE COBERTURA E ESQUEMA VERTICAL.....	123
	APÊNDICE B – DEMANDA DE ÁGUA PARA A LIMPEZA DOS AMBIENTES.....	125
	APÊNDICE C – EFICIÊNCIA DO SISTEMA PARA OS VOLUMES DE RESERVATÓRIO $V= 20 \text{ m}^3$, $V= 30 \text{ m}^3$ E $V= 40 \text{ m}^3$	126
	APÊNDICE D – PROPOSTAS DE DISPOSIÇÃO DAS CALHAS E DESCIDA DE ÁGUA PARA OS CONDUTORES VERTICIAIS.....	128
	APÊNDICE E – PROPOSTA ESCOLHIDA PARA A DISPOSIÇÃO DAS CALHAS E DESCIDA DE ÁGUA PARA OS CONDUTORES VERTICIAS, ESQUEMA ISOMÉTRICO DO SISTEMA ELEVATÓRIO E PROPOSTA PARA DISPOSIÇÃO DOS CONDUTORES HORIZONTAIS E VERTICAIS.....	130

1 INTRODUÇÃO

O Sistema de Aproveitamento de Água da Chuva ou Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial (SAAP) é uma medida simples e vantajosa que possibilita o uso da água chuva para distintas atividades com fins não potáveis e reduz o uso dos recursos hídricos. Apesar de existir desde a antiguidade, esse sistema está sendo amplamente divulgado e implantado atualmente, visto que o uso da água para distintas atividades só tende aumentar, enquanto as fontes de água tendem a cada dia serem mais exploradas. Diante disso, e do alto consumo de água na indústria, o foco deste trabalho é levantar as características de uma indústria de laticínio no município de Balsas/MA e estudar a viabilidade de implantação de um SAAP na mesma.

A água é um recurso natural de suma importância para a sobrevivência no planeta e embora o Brasil seja um país com abundância desse recurso natural, a escassez de água potável tem preocupado a muitos, gerando a necessidade da gestão dos recursos hídricos no país, com investimento em pesquisas e tecnologia de prevenção e manutenção dos mananciais. A escassez de água é resultado da combinação da variabilidade hidrológica e do elevado uso humano. Dentre os usos humanos, a agricultura representa 70% do total do consumo de água doce, e na maior parte dos países desenvolvidos esse número pode chegar até a 90%, de acordo com FAO (2011, apud UNESCO, 2016). E a estimativa é que o consumo mundial da agricultura, em 2050, chegará a 90%, aumentando 20%. (WWAP, 2012 apud UNESCO, 2016).

A indústria é responsável pelo uso de mais 19% do consumo de água doce, incluindo o setor energético (FAO, 2014 apud UNESCO, 2016). Este utiliza cerca de 15 % desse total, e os 4% restantes são consumidos pela a indústria pesada e de manufatura, cabe ressaltar que as pequenas e médias indústrias não são inclusas nesse percentual, pois recebem água dos sistemas municipais de distribuição (OECD, 2012 apud UNESCO,2016). Os outro 10% do consumo mundial de água doce é para atender o consumo humano, as instituições e as pequenas e médias indústrias (WWAP, 2012 apud UNESCO, 2016).

Os setores da indústria agricultura, silvicultura, pesca, energia, manufatura, reciclagem, construção e transportes, que são altamente dependentes de água e dos recursos naturais, empregam cerca de metade da força de trabalho mundial. A agricultura, a silvicultura e a pesca são os setores mais ameaçados pela escassez de água, e os mesmo empregam mais de um bilhão de pessoas (ILO, 2013 apud UNESCO, 2016). Além desses setores, o setor de alimentação e bebidas empregam 22 milhões de pessoas, o setor de

produtos químicos, farmacêuticos, borracha e pneus cerca de 20 milhões e o setor de eletrônicos 18 milhões. Esses setores também usam água de forma intensiva.

No Brasil, acompanhando a conjuntura econômica do país, houve um crescimento considerável da demanda hídrica industrial até o ano de 2013, onde as vazões de retiradas foram 70% maiores que às vazões de 2002. Já nos anos de 2014 e 2015 as vazões de retirada apresentaram queda em relação ao ano de 2013. Em 2015 a vazão de retirada somou um montante de 104,92 m³/s, representando 7,1% de queda em relação a 2013. As maiores demandas estão na Sudeste. Essa região juntamente com a região Sul e Nordeste representaram 85% da demanda de 2015 (ANA, 2017).

Dentre as indústrias alimentícias, uma das que mais consomem água para realizar suas atividades é a de laticínios. Segundo Silva e Eyng (2013), em uma indústria de pequeno porte consomem-se, em média, 30 mil litros de água por dia. De acordo com Tundisi *et al.* (2006), a água é utilizada, principalmente, nas operações de lavagem, geração de vapor e, é liberada como resíduo da fabricação de diversos derivados do leite e na lavagem dos equipamentos e instalações.

Diante desse panorama, melhoras na eficiência do uso da água são consideradas fundamentais para solucionar e mitigar a projeção de que, em 2030, haverá um déficit de 40% entre a procura e a disponibilidade de água (UNESCO, 2016). Dentre essas medidas, o desenvolvimento de processos que utilize menos água deve ser o principal foco, além disso, outras medidas também são de suma importância como o reúso da água e o aproveitamento de água da chuva. De acordo com o Manual de Conservação e Reúso de água na Indústria (FIRJAN, 2006), o aproveitamento de água da chuva é interessante para as indústrias devido as grande área de pátios e telhados disponíveis na maioria das indústrias, e relata ainda que as águas pluviais:

Além de apresentarem qualidade superior aos efluentes considerados para reúso, os sistemas utilizados para sua coleta e armazenamento não apresentam custos elevados e podem ser amortizados em períodos relativamente curtos. Esta fonte deve ser utilizada, na maioria das vezes, como complementar as fontes convencionais, principalmente durante o período de chuvas intensas. Os reservatórios de descarte e de armazenamento devem ser projetados para condições específicas de local e de demanda industrial (FIRJAN, 2006, p.18).

Portanto, diante do exposto acima, a finalidade deste estudo é avaliar a viabilidade econômica de implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva em uma indústria de laticínios na região sul do Maranhão, no município de Balsas, visto que esse ramo da indústria alimentícia é um dos que mais consomem água, tanto no processo produtivo,

quanto na higienização de equipamentos e ambientes da indústria, visando assim reduzir a exploração dos recursos hídricos para o uso em atividades com fins não potáveis.

De início foram levantadas as características da indústria e os dados pluviométricos da região. Os dados coletados foram tratados e analisados para que pudessem ser usados no dimensionamento do SAAP. Após o dimensionamento do sistema, foram levantados os custos e os benefícios da implantação do mesmo e realizado a análise econômica para determinar se o sistema proposto é viável ou não de ser implantado. Com esse roteiro, este estudo poderá servir de base para o desenvolvimento de projetos em outros tipos de edificações, visto que apresentará um roteiro de cálculo para o desenvolvimento de um projeto de SAAP com as características e dados pluviométricos da cidade de Balsas/MA.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos, ou seja, o direcionamento de como foi desenvolvido este trabalho estão expostos a seguir.

1.1.1 Objetivo Geral

Fazer a avaliação econômica da viabilidade de implantação de um sistema de aproveitamento de água da chuva em uma indústria de laticínios no município de Balsas/MA.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Realizar um levantamento bibliográfico sobre aproveitamento de água de chuva;
- ✓ Determinar a demanda de água não potável da indústria;
- ✓ Levantar o volume de água da chuva que pode ser coletado pela área de cobertura da indústria de laticínio;
- ✓ Dimensionar o volume do reservatório de águas pluviais, através dos métodos especificados na norma NBR 15527:2007;
- ✓ Comparar o volume do reservatório encontrado através dos métodos especificados na norma NBR 15527 com o volume encontrado através do programa NETUNO;
- ✓ Dimensionar a seção das calhas e dos condutores verticais e horizontais para transporte da água coletada;
- ✓ Determinar a potência da bomba de recalque;
- ✓ Avaliar a viabilidade econômica de implantação do sistema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico abordaremos sobre a disponibilidade hídrica e uso da água, Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva e a importância do mesmo, as principais normas técnicas que orientam o desenvolvimento de um projeto de SAAP e os principais itens de um projeto de SAAP.

2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA E USO DA ÁGUA

Á água sempre foi um recurso vital desde o início da vida no planeta Terra e da história da humanidade. Toda e qualquer forma de vida depende da água para sobreviver e se desenvolver. É sabido que tanto as grandes civilizações do passado como as de hoje dependem da água doce para a sobrevivência e para o desenvolvimento das atividades culturais e econômicas. Embora a existência de vida esteja atrelada a existência de água, a ação humana polui e degrada diariamente as águas superficiais e subterrâneas. Além da poluição de rios, lagos e represas e da destruição das áreas alagadas e das matas de galeria, o uso múltiplo da água tem provocado perdas extremamente elevadas em qualidade e quantidade desse recurso no planeta.

O uso múltiplo da água é resultado de desenvolvimento econômico e da diversificação da sociedade, ao longo de toda a história da humanidade. Com isso, os recursos hídricos superficiais e subterrâneos têm sofrido uma pressão constante, principalmente em razão do crescimento populacional e das demandas industriais e agrícolas. Na maioria dos continentes o uso da água para irrigação aparece na primeira posição, no ranking de maior uso, seguido pela a indústria e pelo o uso doméstico/municipal (Tabela 01).

Tabela 1 - Uso múltiplos da água por continente (km³)

Região	Irrigação	Indústria	Doméstico/municipal
África	127,7	7,3	10,2
Ásia	1338,8	147	98,0
Austrália - Oceania	5,7	0,3	10,7
Europa	141,1	250,4	63,7
Américas do Norte e Central	248,1	235,5	54,8
América do Sul	62,7	24,4	19,1
Total mundial	2024,1	684,9	256,5
Porcentagem do total mundial (%)	68,3	23,1	8,6

Fonte: Tundisi e Matsumura-Tundisi (2011).

No Brasil, a demanda de água para irrigação também aparece em primeiro lugar. A região que apresenta maior demanda de água para irrigação é Região Sul, seguida pela Região Sudeste, Região Nordeste, Região Centro-Oeste e Região Norte. Em relação a demanda de água para indústria, a região que possui maior demanda é a Região Sudeste, por conseguinte a Região Sul, Região Nordeste, Região Centro-Oeste e Região Norte. No Nordeste, o Maranhão é o estado que possui menor demanda de água para a irrigação, já no quesito demanda industrial possui maior demanda apenas em relação ao Piauí.

Outro ponto relevante sobre a água é a sua distribuição no planeta, uma vez que não é homogênea, devido às diferenças latitudinais e altitudinais de cada continente, o que resulta em características climáticas próprias. Os países com menos água (m^3/hab) são Kuwait, Faixa de Gaza (Território Palestino), Emirados Árabes Unidos e Ilhas Bahamas. Enquanto os países com mais água são Guiana Francesa, Islândia, Suriname, Congo e o Brasil em 25ª posição. Apesar de estar na vigésima quinta posição, em relação aos países com maior abundância de água, a produção total de água doce no Brasil é cerca de 12% do total mundial e 53% do continente sul-americano. Porém, assim como a distribuição de água mundial, a distribuição de água no Brasil também é desigual em relação a densidade populacional. Dentre as Unidades Federativas brasileiras a que mais possui potencial hídrico é o Amazonas com $1848,3 \text{ km}^3/\text{ano}$, enquanto o Distrito Federal é o que possui menor potencial hídrico com $2,8 \text{ km}^3/\text{ano}$. No Nordeste, o Maranhão é o estado que apresenta maior potencial hídrico com $84,7 \text{ km}^3/\text{ano}$ (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

O Relatório Diagnóstico do município de Balsas aborda sobre os recursos hídricos do estado do Maranhão e da cidade de Balsas/MA (CORREIA FILHO et al., 2011). Sobre o estado do Maranhão, destaca:

O Maranhão é o único estado do Nordeste que menos se identifica com as características hidrológicas da região, pois não há estiagem e nem escassez de recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos, em seu território. É detentor de uma invejável rede de drenagem com, pelo menos, dez bacias hidrográficas perenes. Podem ser assim individualizadas: Bacia do rio Mearim, Bacia do rio Gurupi, Bacia do rio Itapecuru, Bacia do rio Grajaú, Bacia do rio Turiaçu, Bacia do rio Munim, Bacia do rio Maracaçumé-Tromaí, Bacia do rio Uru-Pericumã-Aurá, Bacia do rio Parnaíba-Balsas, Bacia do rio Tocantins, além de outras pequenas bacias. Suas principais vertentes hidrográficas são: a Chapada das Mangabeiras, a Chapada do Azeitão, a Serra das Cruzeiras, a Serra do Gurupi e a Serra do Tiracambu (CORREIA FILHO et al., 2011, p. 26).

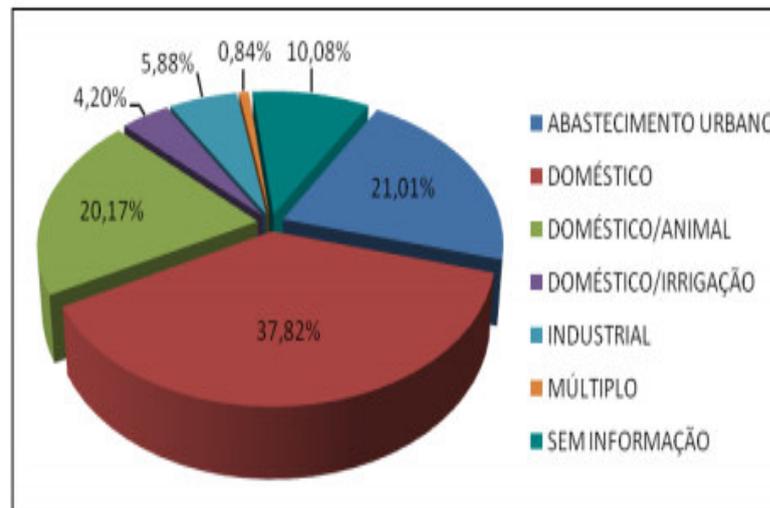
E sobre o município de Balsas/MA, o relatório (CORREIA FILHO et al., 2011) informa:

O município de Balsas pertence à bacia hidrográfica do rio Parnaíba, já que o rio das Balsas que drena a área do município é seu afluente pela margem esquerda. Esta bacia localiza-se na área transicional entre a Amazônia e a região Nordeste

Ocidental... Ela drena uma área aproximada de 331.441 km², distribuída entre os estados do Piauí, Maranhão e Ceará (CORREIA FILHO et al., 2011, p. 26).

Em relação a disponibilidade hídrica de água subterrânea, o Maranhão assenta-se sobre terrenos de rochas sedimentares, apresentando assim possibilidades promissoras de armazenamento e exploração de águas subterrâneas, com excelentes exutórios e sem períodos de estiagem. O município de Balsas apresenta um domínio hidrogeológico que é o do aquífero poroso ou intergranular, relacionado aos sedimentos consolidados das formações Piauí (C2pi), Pedra de Fogo (P12pf), Motuca (P3m) e Sambaíba (T12s); e pelos Depósitos Colúvio-Eluviais (NQc). No inventário hidrogeológico do município foram encontrados 119 pontos d'água, sendo todos poços tubulares e nenhum poço amazonas. Desses 26 são poços públicos, enquanto os 93 restantes são particulares (Figura 01) (CORREIA FILHO et al., 2011).

Figura 1- Representação em termos percentuais das diferentes destinações da água subterrânea no município Balsas/MA



Extraído de: Correia Filho et al. (2011).

Apesar da disponibilidade hídrica favorável, já há uma visão de que a água é um recurso finito. Pois, quando uma retirada de água da natureza excede a quantidade de água resposta pela precipitação e a descarga, ocorre um desequilíbrio que pode gerar a escassez. Assim, também já se tem a percepção de que deve haver limites no seu uso e de que os custos com tratamento e com recuperação de lagos, rios e represas estão cada vez mais caros (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011). A água que é destinada para abastecimento industrial é empregada para produção de produtos e serviços, essa utilização gera uma

demanda crescente, e, conseqüentemente aumento do custo final de fabricação. Isto tem levado as indústrias a avaliar e encontrar formas de reuso da água, através de processos industriais, sistemas de lavagem com baixo consumo de água e captação de água das chuvas (HESPANHOL, 2002).

2.2 SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

O aproveitamento de água de chuva é uma técnica milenar. Dentre os registros, o mais antigo é o da Pedra Mohabita (Figura 02- (a)), datada de 830 a.C, encontrada na região de Moab, próximo a Israel, onde foram achadas na mesma inscrições do rei Mesa, determinando a construção de cisterna para cada casa: “...*para que cada um de vós faça uma cisterna para si mesmo, na sua casa*”. Outro destaque de que o aproveitamento de chuva era usado desde a antiguidade é a Fortaleza dos Templários (Figura 02 – (b)), que era abastecida com água de chuva em 1160 d.C, a mesma situava-se na cidade de Tomar em Portugal (TOMAZ, 2009; BRECKENFELD, 2016).

Figura 2 - Pedra Mohabita (a) e Fortaleza dos Templários (b)

(a)



(b)



Fonte: Tomaz (2009) e Breckenfeld (2016).

As cisternas continuam a ser bastante utilizadas atualmente, porém com tecnologias mais modernas. Nas regiões que se caracterizaram por possuírem longos períodos de estiagem, como a região semi-árida nordestina, as cisternas são uma alternativa de suma importância

para o armazenamento de água. Porém, não basta apenas a cisterna, esta por sua vez, é apenas um dos componentes de um sistema maior, que é o sistema de aproveitamento de águas pluviais (SAAP).

O SAAP consiste em uma medida sustentável de economizar água subterrânea e superficial, que apresenta vários pontos positivos, dentre eles: reduzir o consumo de água potável diminuindo os custos de água fornecida pelas companhias de abastecimento; minimizar riscos de enchentes e preservar o meio ambiente reduzindo a escassez de recursos hídricos. Além disso, podem-se listar outras vantagens como baixo impacto ambiental; água com qualidade aceitável para vários fins com pouco ou nenhum tratamento; complementa o sistema convencional; reserva de água para situações de emergência ou interrupção do abastecimento público e ainda utiliza estruturas existentes na edificação como telhados, lajes e rampas para a coleta de água da chuva (MARINOSKI, 2007). Assim, de forma sucinta, pode-se dividir as fases que compõem um SAAP em quatro etapas: coleta, processo de tratamento, armazenamento e distribuição, conforme ilustra o fluxograma abaixo (Figura 03).

Figura 3- Fluxograma do funcionamento do SAAP



Fonte: Adaptado de Sampaio (2013).

2.2.1 Coleta da água da chuva

A coleta é a primeira etapa do sistema de captação de águas pluviais. Geralmente a coleta é feita em área de cobertura, porém pode ser realizada também em área de pisos, como estacionamento, por exemplo, mas estas áreas não são as mais recomendadas devido a maior probabilidade de contaminação. Assim, as coberturas de telhas e lajes são as áreas mais usuais para a coleta de água da chuva. Cabe ressaltar que o tipo de material da cobertura influi diretamente na eficiência do sistema, assim o uso de materiais lisos, limpos e impermeáveis são os mais recomendáveis, enquanto materiais como concreto, asfalto, pinche e seixo são menos recomendáveis, pois podem ocasionar perdas de 10 a 15% no volume de captação. E, por fim, os materiais que liberam toxinas não devem ser usados (SILVA, 2012 apud PEDRONI, 2013).

Cada material possui um coeficiente de rugosidade ou “coeficiente de Runoff” próprio, que expressa a relação entre o volume de chuva escoado e o volume de chuva precipitado, ou seja, esse coeficiente representa a facilidade ou dificuldade que um material tem de escoar a água em relação a outro, e isto está atrelado à propriedade do material ser mais permeável ou menos permeável (TOMAZ, 2010). A Tabela 02 apresenta coeficiente de Runoff para diferentes tipos de telhas.

Tabela 2 - Coeficiente de Runoff médio

Telhas	Coeficiente de Runoff (Adimensional)
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,5
Telhas Corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico	0,9 a 0,95

Fonte: Tomaz (2010).

A qualidade da água pluvial coletada é, contudo, um fator preponderante para que o aproveitamento seja satisfatório. Uma variável importante para determinação da qualidade da água é o local onde a mesma é coletada. As variações da qualidade da água em função do local da coleta são apresentadas no Quadro 1 (MARINOSKI, 2007).

Quadro 1 - Variações da qualidade da água de chuva devido ao sistema de coleta

Grau de purificação	Área de coleta de chuva	Observações
A	Telhados (lugares não frequentados por pessoas ou animais)	Se a água for purificada, é potável.
B	Telhados (lugares frequentados por pessoas ou animais)	Apenas usos não potáveis
C	Pisos e estacionamentos	Necessita de tratamento mesmo para usos não potáveis
D	Estradas	Necessita de tratamento mesmo para usos não potáveis

Fonte: Group Raindrops (2002).

Sintetizando, na etapa de coleta a água da chuva que incide sobre o telhado, segue para as calhas e em seguida para os condutores verticais e horizontais, que conduzem a água até o reservatório. No espaço entre as calhas e o reservatório ocorre o processo de tratamento da água.

2.2.2 Processo de tratamento

Nesse processo é realizada a limpeza e são retiradas desde folhas secas até impurezas mais finas de difícil remoção (MANO, 2004 apud PEDRONI, 2013). É nessa fase também que é realizado o descarte da água da chuva inicial. São vários os sistemas de tratamento da água de chuva, como uso de filtros, raios UV, reservatório que trabalham como decantadores, contudo, para fins não potáveis, apenas o filtro é o suficiente (SILVA, 2012 apud PEDRONI, 2013). Sobre a qualidade da água, a ABNT NBR 15527 informa que os padrões de qualidade devem ser definidos pelo projetista, a partir da finalidade de uso da água e que para usos mais restritivos devem ser utilizados os parâmetros da Tabela 3 (ABNT, 2007).

No Quadro 2, são apresentadas as classes de água de reuso determinadas pela ABNT NBR 13969, suas aplicações e padrões de qualidade que devem ser seguidos por cada uma delas (ABNT, 1997). O quesito qualidade da água é a variável que determina qual o procedimento que deverá ser utilizado no tratamento das águas pluviais. Além da qualidade da água que é coletada, o tratamento também depende da aplicação. Para finalidades não potáveis, não é necessário um tratamento complexo como a purificação da água, mas em alguns casos é necessário que haja pelo menos uma filtração dessa água. Já para o consumo

humano, a mesma deve passar por tratamentos mais eficazes, como desinfecção por ultravioleta ou osmose reversa (MAY; PRADO, 2004).

Tabela 3 - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência de 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência de 100 mL
Cloro residual livre ^a	Mensal	0,5 a 0,3 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT ^b , para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 5,0 uH ^c
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulações de aço carbono ou galvanizado
Nota: podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.		
^a No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.		
^b uT é a unidade de turbidez.		
^c uT é a unidade Hazen.		

Fonte: ABNT (2007).

Quadro 2 - Classificação e parâmetros do efluente conforme o tipo de reuso

Água de reuso	Aplicações	Padrões de Qualidade
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, incluindo chafarizes.	Turbidez - < 5 UNT; Coliforme fecal – < 200 NMP/100ml; Sólidos dissolvidos totais < 200 mg/l pH entre 6.0 e 8.0; Cloro residual entre 0,5 mg/l e 1,5 mg/l
Classe 2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes:	Turbidez - < 5 UNT; Coliforme fecal – inferior a 500 NMP/100ml; Cloro residual superior a 0,5 mg/l
Classe 3	Reuso nas descargas das bacias sanitárias	Turbidez - < 10 UNT; Coliforme fecal – inferior a 500 NMP/100ml;
Classe 4	Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	Coliforme fecal – inferior a 5.000 NMP/100ml; Oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/l

Fonte: ABNT (1997).

2.2.3 Armazenamento

Após o tratamento a água segue para o armazenamento. Dependendo do sistema de aproveitamento de água e da sua finalidade pode-se ter apenas reservatório inferior ou reservatório superior, ou ainda ter um sistema com reservatório inferior e superior. De acordo com Group Raindrops (2002 apud PEDRONI, 2013), qualquer recipiente pode ser usado como reservatório, contanto que siga as seguintes instruções:

- a) Não há nenhum vazamento;
- b) Ser feito de um material que não contenha nenhum ingrediente que possa contaminar a água armazenada, e também não permitir a entrada de luz para prevenir o desenvolvimento de algas;
- c) Possuir tampa para prevenir a evaporação e entrada de sujeiras, além disso, é projetado de uma forma que seu interior possa ser limpo facilmente (GROUP RAINDROPS, 2002 apud PEDRONI, 2013, p. 37-38).

2.2.4 Distribuição

A distribuição é a última fase do sistema de captação pluvial. Nessa fase a água segue do reservatório até os pontos de consumo, que dependerão do tipo de projeto. Caso seja um sistema de aproveitamento para residência, certamente os pontos de consumos serão vaso sanitário, jardins, limpeza da residência. Caso seja uma indústria, pode ser para limpeza de ambientes, para refrigeração, para o uso em caldeiras, para limpeza de equipamentos e etc., casos estes onde o uso da água é para fins não potáveis.

As instalações de água de distribuição devem atender a ABNT NBR 5626 (ABNT, 1989). De acordo com a ABNT NBR 15527, as instalações prediais de água não potável devem ser diferenciadas das instalações de água potável, além disso, recomenda também que as instalações de água pluvial sejam separadas das instalações de água potável, não permitido o uso de conexões cruzadas. Além das instalações, os reservatórios de água potável e de água pluvial também devem ser separados (ABNT, 2007).

2.3 IMPORTÂNCIA DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM EDIFICAÇÕES

O sistema de captação de água de chuva existe desde a antiguidade. No México, por exemplo, as escrituras mostram que o sistema já era usado desde a época de Aztecas e Mayas. Também a mais de quatro mil anos, essa técnica já era usada no deserto de Nígev. Já no

Brasil, os registros mais remotos são de instalações em Fernando de Noronha, construído pelos Norte-americanos, em 1943. Hoje em dia países como Holanda, Alemanha, Austrália e Japão fazem o uso do aproveitamento de água para suprir suas demandas. Na Alemanha, por exemplo, a água é coletada para suprir a péssima qualidade da distribuição de água na cidade. Já na Austrália, o abastecimento público se tornou caro, em virtude da escassez, assim, várias residências têm optado pela implantação do sistema (CAPTAÇÃO..., 2018).

O uso da água da chuva além de ser medida de conservação de água, é também uma medida de conservação de energia, uma vez que a energia necessária para operar os sistemas de água centralizados é diminuída. O uso de água da chuva também traz benefícios para infraestrutura das cidades, pois reduz as chances de erosão e de inundações provocados pelo escoamento superficial da mesma. Já no quesito qualidade, a água da chuva supera a água subterrânea e superficial, pois é uma fonte de água pura, devido não ter contato nem com solo, nem com rocha e não receber carga de efluentes, como as fontes superficiais (BERTOLO, 2006).

De acordo com Somioni et al. (2004 apud CORDOVA, 2009), algumas das principais vantagens na utilização de água pluvial são que:

- ✓ As superfícies de captação são estruturas já existentes na edificação, como telhados, lajes e rampas;
- ✓ O impacto ambiental é baixo comparado com outras fontes de captação e distribuição de água;
- ✓ Dependendo do fim a que a água se destina, é necessário pouco ou nenhum tratamento;
- ✓ O sistema de aproveitamento de água da chuva funciona como um complemento ao sistema convencional de abastecimento de água e, deste modo, serve como reserva de água em casos de emergência ou interrupção do abastecimento público.

2.4 NORMAS TÉCNICAS

Dentre as normas técnicas brasileiras as mais relevantes para orientar o desenvolvimento de um sistema de aproveitamento de águas pluviais são:

- ✓ NBR 10.844/1989 – Instalações prediais de águas pluviais – Procedimento (ABNT, 1989);

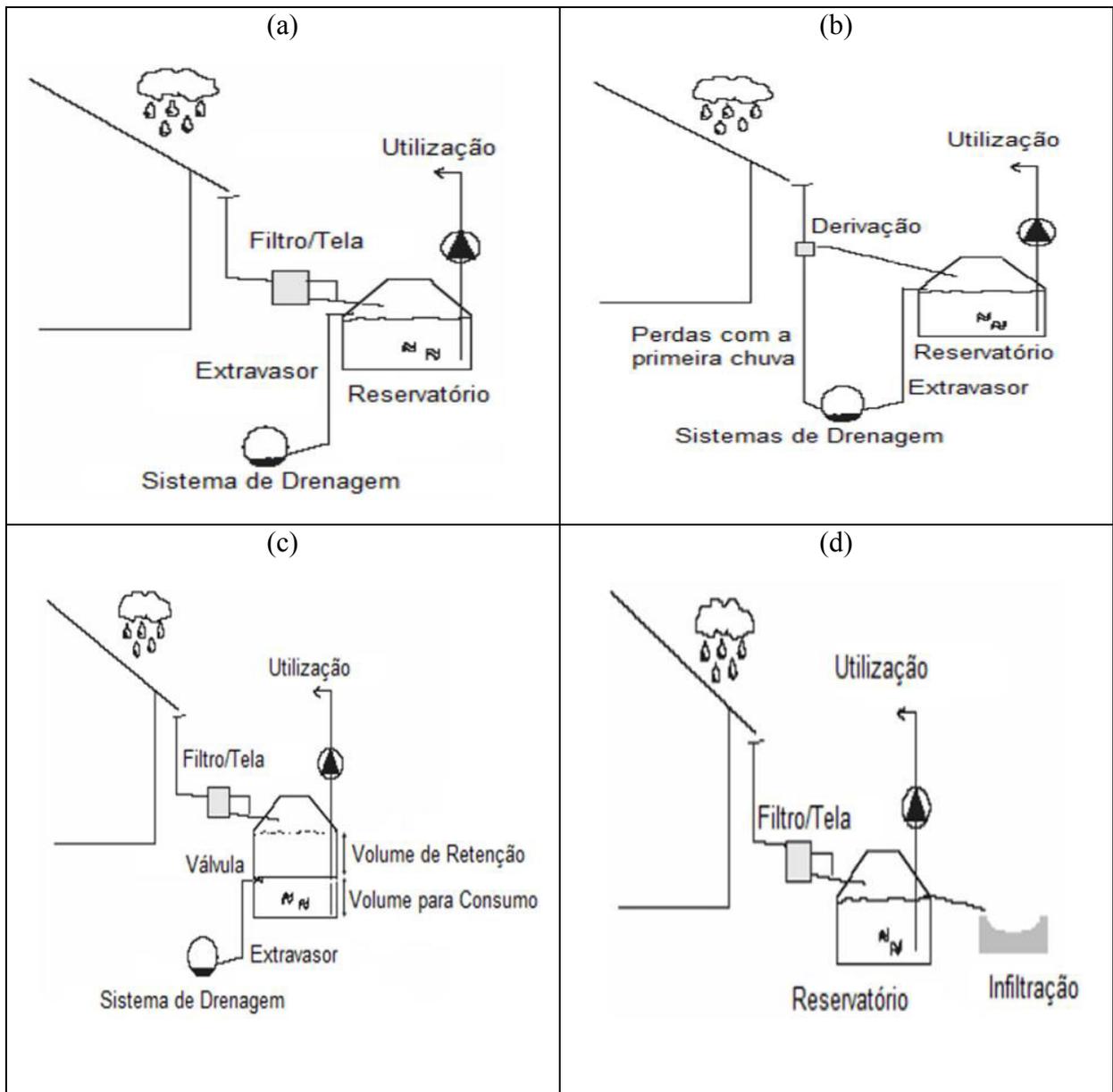
- ✓ NBR 12.213/1992 – Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público – Procedimento (ABNT, 1992a).
- ✓ NBR 12214/1992 – Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público (ABNT, 1992b).
- ✓ NBR 12217/1994 – Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público (ABNT, 1994).
- ✓ NBR 5.626/1998 – Instalação predial de água fria (ABNT, 1998);
- ✓ NBR 15.527/2007 – Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos (ABNT, 2007);
- ✓ NBR 5.688/2010 – Tubos e conexões de PVC-U para sistemas prediais de água pluvial, esgoto sanitário e ventilação – Requisitos (ABNT, 2010);

2.5 PROJETO DE SAAP

Para o desenvolvimento de um projeto de captação de água pluvial de início deve-se escolher o tipo de SAAP que mais se adequa ao projeto. Os sistemas de aproveitamento de água de chuva podem ser classificados em quatro principais tipos, segundo a forma construtiva, que são eles: sistema de fluxo total, sistema com derivação, sistema com volume adicional de retenção e sistema com infiltração no solo.

No sistema de fluxo total água que é captada no telhado passa por um filtro ou por uma tela antes de chegar ao reservatório, e água que extravasa é encaminhada para o sistema de drenagem (Figura 4 - (a)). No sistema com derivação a água da primeira chuva é descartada por um tubo vertical para o sistema de drenagem, pode ser instalados também filtros ou telas na derivação, e água que extravasa no reservatório é encaminhada para o sistema de drenagem também (Figura 4 - (b)). No sistema com volume adicional de retenção constrói-se o reservatório com um volume maior que o da demanda de água, com o objetivo de armazenar água de chuva para evitar inundações. Nesse tipo de sistema é instalada uma válvula para controle da saída do volume extra a demanda para o sistema de drenagem (Figura 6 - (c)). E no sistema com infiltração no solo a água que é captada no telhado passa por um filtro ou por uma tela antes de chegar ao reservatório, e água que extravasa é encaminhada para um sistema de infiltração no solo (Figura 6 - (d)) (ANNECCHINI, 2005 apud LUCAS, 2016).

Figura 4 - Tipos de SAAP: (a) sistema de fluxo total, (b) sistema com derivação, (c) sistema com volume adicional de retenção e (d) sistema com infiltração no solo



Fonte: Anecchini (2005 apud Lucas , 2016).

Para o dimensionamento de um SAAP deve-se conhecer sobre as instalações, os componentes, os acessórios e as recomendações para desenvolver este tipo de projeto. As normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que tratam sobre aproveitamento de água de chuva são ABNT NBR 15527 (ABNT, 2007) e ABNT NBR 10844 (ABNT, 1989). Antes de conhecer sobre os principais componentes e acessórios de um SAAP e para melhor entendimento deste trabalho é relevante conhecer algumas definições contidas em tais normas, que são elas: água de chuva, água não potável, área de captação,

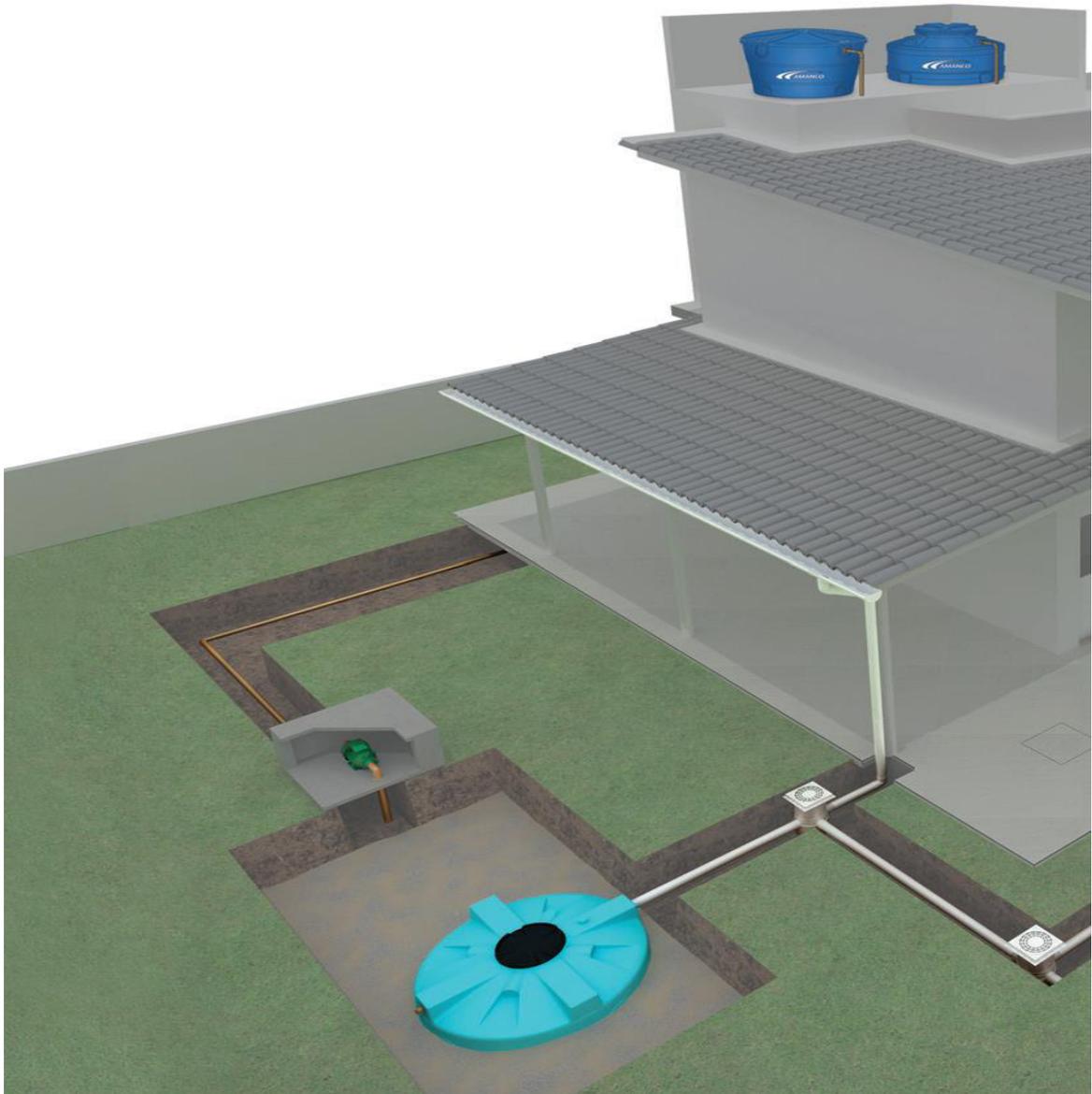
coeficiente de escoamento superficial, conexão cruzada, demanda, escoamento inicial, suprimento (ABNT, 2007), área de contribuição, caixa de areia, calha, calha de água furtada, calha de beiral, calha de platibanda, condutor horizontal, condutor vertical, diâmetro nominal, período de retorno e vazão de projeto (ABNT, 1989) descritas a seguir:

- ✓ **Água de chuva:** água resultante de precipitações atmosféricas coletada em coberturas, telhados, onde não haja circulação de pessoas, veículos ou animais.
- ✓ **Água não potável:** água que não atende à Portaria nº 518 do Ministério da Saúde.
- ✓ **Área de captação:** área, em metros quadrados, projetada na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada.
- ✓ **Coefficiente de escoamento superficial:** coeficiente de runoff C que representa a relação entre o volume total de escoamento superficial e o volume total precipitado, variando conforme a superfície.
- ✓ **Conexão cruzada:** qualquer ligação física através de peça, dispositivo ou outro arranjo que conecte duas tubulações das quais uma conduz água potável e a outra água de qualidade desconhecida ou não potável.
- ✓ **Demanda:** Consumo médio (mensal ou diário) a ser atendido para fins não potáveis.
- ✓ **Escoamento inicial:** água proveniente da área de captação suficiente para carregar a poeira, fuligem, folhas, galhos e detritos.
- ✓ **Suprimento:** fonte alternativa de água para complementar o reservatório de água de chuva (ABNT, 2007, p. 1-2).
- ✓ **Área de contribuição:** Soma das áreas das superfícies que, interceptando chuva, conduzem as águas para determinado ponto da instalação.
- ✓ **Caixa de areia:** caixa utilizada nos condutores horizontais destinados a recolher detritos por deposição.
- ✓ **Calha:** canal que recolhe a água de coberturas, terraços e similares e a conduz a um ponto de destino.
- ✓ **Calha de água furtada:** calha instalada na linha de água-furtada da cobertura.
- ✓ **Calha de beiral:** calha instalada na linha de beiral da cobertura.
- ✓ **Calha de platibanda:** calha instalada na linha de encontro da cobertura com a platibanda.
- ✓ **Condutor horizontal:** canal ou tubulação horizontal destinado a recolher e conduzir águas pluviais até locais permitidos pelos dispositivos legais.
- ✓ **Condutor vertical:** tubulação vertical destinada a recolher águas de calhas, coberturas, terraços e similares e conduzi-las até a parte inferior do edifício.
- ✓ **Diâmetro interno:** simples número que serve para classificar, em dimensões, os elementos de tubulações (tubos, conexões, condutores, calhas, bocais, etc.), e que corresponde aproximadamente ao diâmetro interno da tubulação em milímetros. O diâmetro nominal (DN) não deve ser objeto de medição nem ser utilizado para fins de cálculos.
- ✓ **Período de retorno:** número médio de anos em que, para a mesma Duração de precipitação, uma determinada intensidade pluviométrica é igualada ou ultrapassada apenas uma vez.
- ✓ **Vazão de projeto:** vazão de referência para o dimensionamento de condutores e calhas (ABNT, 1989, p. 2-3).

Os principais componentes de um SAAP são a área de captação, o sistema de condução de água, a unidade de tratamento da água e o reservatório de armazenamento. A área de captação geralmente é área de cobertura, seja cobertura com telha ou laje, ou área de

piso como marquises, estacionamentos e etc. O sistema de condução de água é composto pelas calhas, os condutores verticais e os condutores horizontais. A unidade de tratamento de água pode ser ralos, telas, filtros, reservatórios de descarte inicial ou de autolimpeza. O reservatório de armazenamento, dependendo da configuração do SAAP, pode-se ser apenas reservatório inferior, ou só reservatório superior ou então reservatório inferior e superior. Para esta última opção de reservação de água pluvial precisa-se de estação elevatória (motobomba). A figura 5 apresenta um sistema de captação de água de chuva com reservatório inferior e superior.

Figura 5 - Sistema de captação de água de chuva com reservatório inferior e superior



Fonte: Catálogo... (2019a).

2.5.1 Sistema de condução de água: calhas, condutores verticais e condutores horizontais

Os componentes do sistema de condução de água da chuva são responsáveis por coletar a água da área de captação e conduzir até o reservatório de armazenamento (Figura 6). O dimensionamento das seções das calhas e condutores verticais e horizontais deve ser feito de acordo com a ABNT NBR 10844.

Figura 6 - Representação do sistema de condução de água de chuva: calha, condutor vertical e condutor horizontal



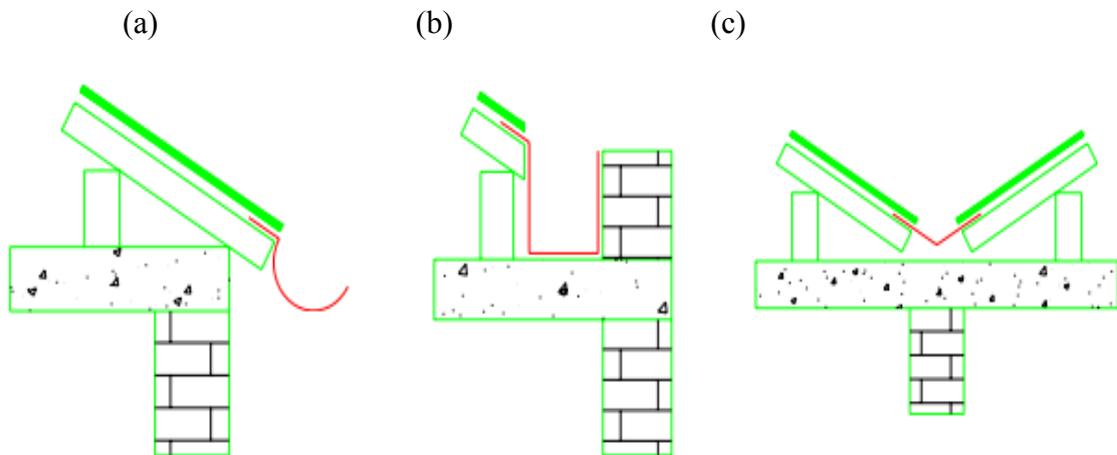
Fonte: Catálogo... (2019a).

➤ Calhas

As calhas podem ser classificadas conforme o seu posicionamento, em três tipos: calhas de beiral, calhas de platibanda e calhas de água furtada (Figura 7). Já em relação à seção, as calhas podem ser em formato de V, U, semicircular, retangular e quadrada (LUCAS, 2016). A figura 8 mostra os elementos de ligação entre a calha e o condutor vertical.

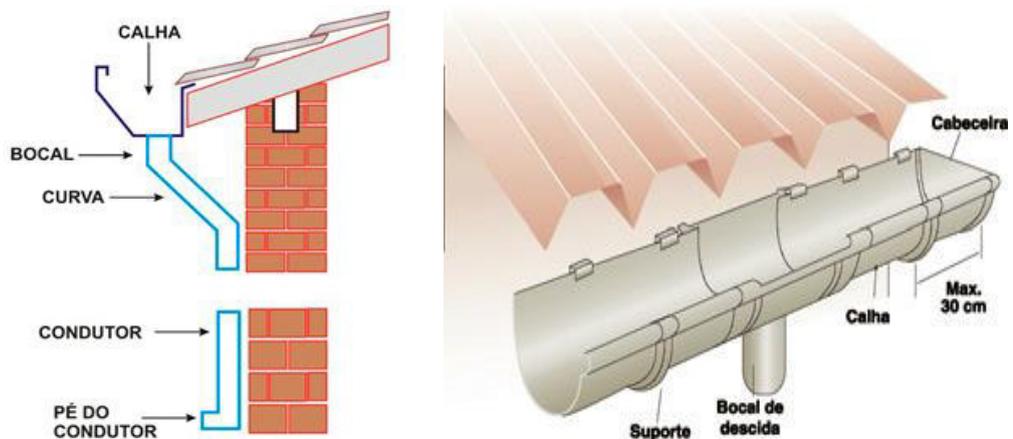
De acordo com a ABNT NBR 10844, item 4.1.1, os materiais das calhas devem ser chapas de aço galvanizado, folhas-de-flandres, chapas de cobre, aço inoxidável, alumínio, fibrocimento, PVC rígido, fibra de vidro, concreto ou alvenaria (Figura 09). Outras recomendações sobre as calhas estão descritas no item 5.5 da referida norma, e cabe destacar que as calhas de beiral e platibanda devem ter inclinação mínima de 0,5 %. As mesmas devem ser fixas no centro da extremidade da cobertura e o mais próximo possível, já em relação às calhas de água de furtada a inclinação deve ser de acordo com o projeto de cobertura (ANBT, 1989).

Figura 7 - Tipos de calhas: (a) calha de beiral, (b) calha de platibanda e (c) calha de água furtada



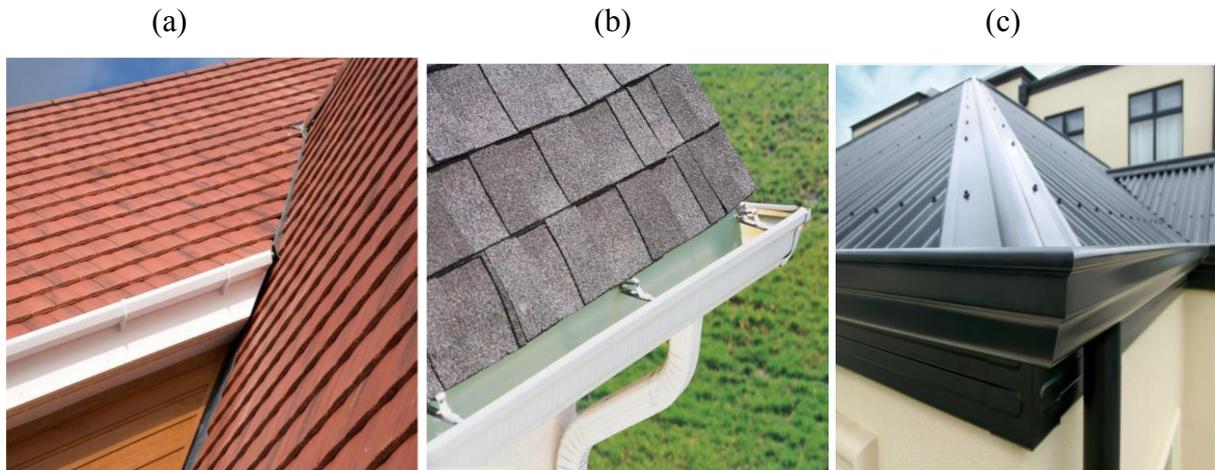
Fonte: Ghissi (2005) apud Lucas (2016).

Figura 8 - Representação de calhas, condutor vertical e conexões



Fonte: Calhas (2019) e Catálogo... (2019a)

Figura 9 - Tipos de materiais para calhas: (a) calha de PVC rígido, (b) calha de zinco e (c) calha de aço galvanizado



Fonte: Cimento... (2018).

➤ Condutores: verticais e horizontais

Os condutores recebem a água das calhas e a conduzem até o armazenamento. Segundo a NBR 10844:1989, os tubos e conexões (Figura 10) dos condutores verticais devem ser de ferro fundido, fibrocimento, PVC rígido, aço galvanizado, cobre, chapas de aço galvanizado, folhas-de-flandres, chapas de cobre, aço inoxidável, alumínio ou fibra de vidro. Em relação ao diâmetro dos tubos e conexões recomenda-se no mínimo 70 mm, e sobre o posicionamento dos condutores pode ser interno ou externo a edificação, a depender do layout do projeto, do uso e ocupação da edificação e do material empregado.

Sobre os condutores horizontais, os tubos e conexões podem ser de ferro fundido fibrocimento, PVC rígido, aço galvanizado, cerâmica vidrada, concreto, cobre, canais de concreto ou alvenaria. A declividade mínima recomenda é de 0,5%, assim como nas calhas, e nas tubulações aparentes devem ser previstas caixa de inspeção (Figura 11 (a)) e nas tubulações enterradas devem ser previstas caixa de areia (Figura 11 (b)) nas seguintes situações: quando houver conexões com outras tubulações, mudança de declividade, mudança de direção e cada trecho reto de 20 metros de comprimentos. E por fim, sobre a conexão dos condutores verticais com os horizontais a ABNT NBR 10844 recomenda o uso de curva de raio longo (ABNT, 1989).

O dimensionamento das calhas e condutores verticais é realizado a partir da intensidade pluviométrica do local de implantação do SAAP e da vazão de projeto, visto que o sistema deve ser capaz de conduzir a máxima precipitação sem que ocorram transbordamentos. Deste

modo, um correto dimensionamento se faz necessário para que problemas de funcionamentos e danos à estrutura da edificação sejam evitados (LUCAS, 2016).

Figura 10 - Tubo e conexões de PVC



Fonte: Catálogo... (2019a).

Figura 11 - (a) caixa de inspeção e (b) caixa de areia

(a)

(b)

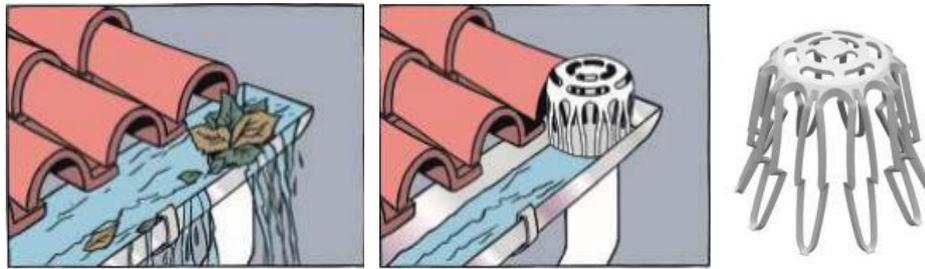


Fonte: Águas ... (2019).

2.5.2 Unidade de tratamento

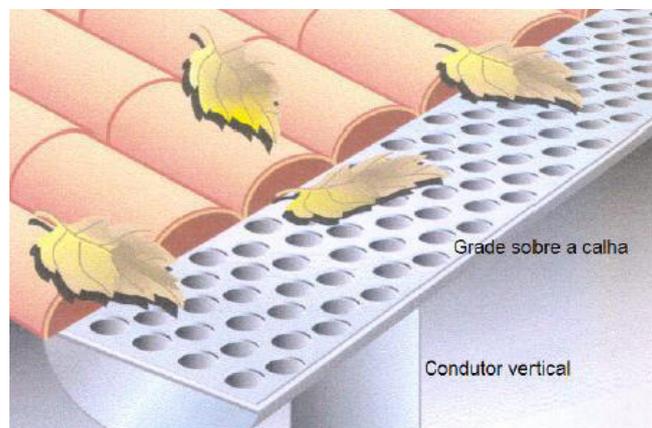
A escolha da forma de tratamento será de acordo com o uso da água da chuva. Nos sistemas de captação de chuva para fins não potáveis se destacam duas formas de tratamento: sistema de remoção de materiais grosseiros e sistema de descarte da primeira chuva. No sistema de remoção de materiais grosseiros são usados dispositivos como ralos, grelhas, grades, telhas e filtros (Figura 12, 13 e 14). Já no sistema de descarte da primeira chuva são usados os dispositivos first flush e reservatório de autolimpeza (Figuras 15, 16 e 17), em diversos modelos. Cabe ressaltar que as técnicas usadas para descarte da primeira chuva são baseadas no uso de boias, peso da água e volume (COSTA, 2011). O Quadro 3 apresenta algumas técnicas de tratamento de água de chuva, o local de implantação da técnica no SAAP e a finalidade da mesma (PALHARES, 2016).

Figura 12 - Grelha flexível



Fonte: Águas... (2019).

Figura 13 - Grade sobre calha



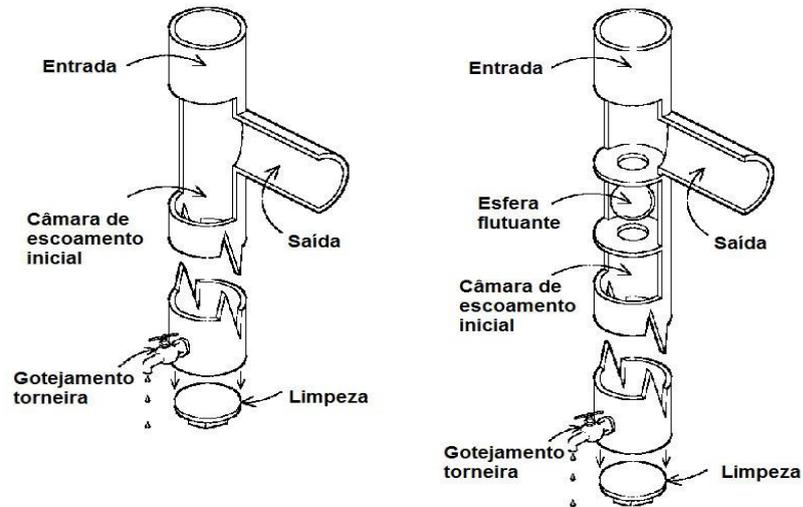
Fonte: Waterfall (2002 apud Costa, 2011).

Figura 14 - Filtros: (a) filtro VS1 3P Technik (b) sistema de filtração para grande vazão utilizando caixa de 1000 L



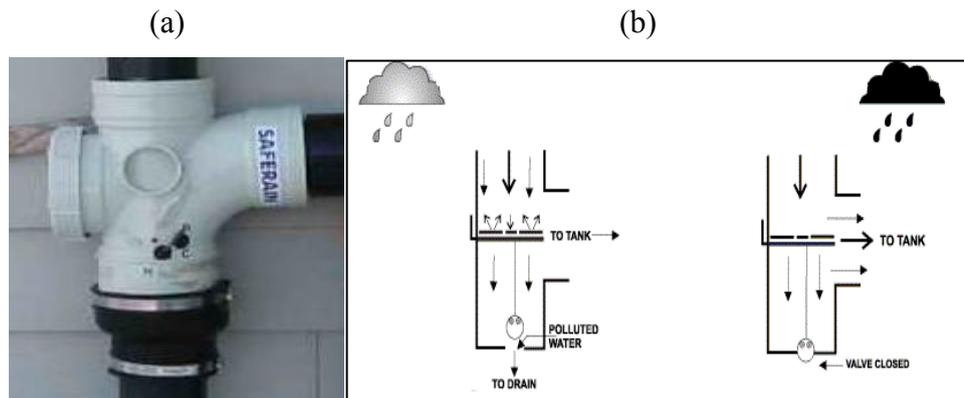
Fonte: Acquasa (2011 apud Costa, 2011) e Embrapa (2012 apud Regelmier e Kozerski, 2015).

Figura 15 - Dispositivo de descarte da primeira chuva: sistema first flush



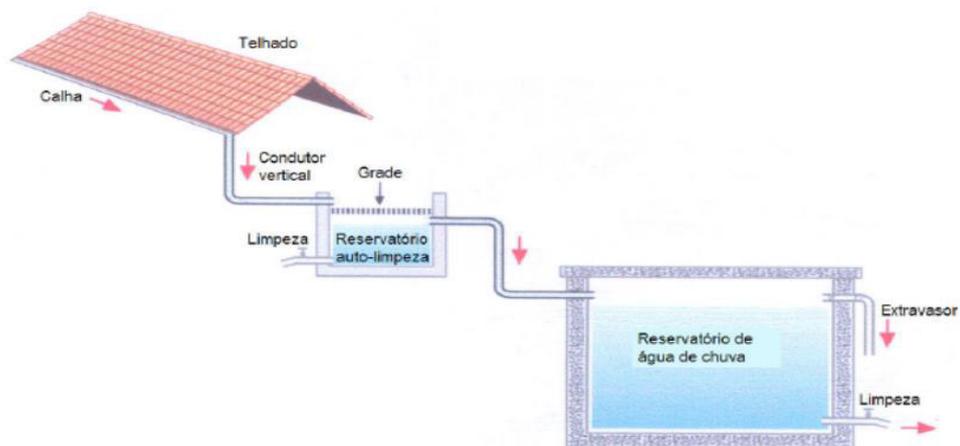
Fonte: Costa (2011).

Figura 16 - Dispositivo de descarte da primeira chuva: (a) SafeRain e (b) funcionamento do SafeRain



Fonte: SafeRain (2011 apud Costa, 2011).

Figura 17 - Esquema ilustrativo de reservatório de autolimpeza



Fonte: Aproveitamento... (2019).

Quadro 3 - Técnicas de tratamento de água de chuva

Método	Local	Finalidade
Telas e grades	Calhas e tubos de queda	Prevenir a entrada de folhas e galhos no sistema
Sedimentação	Na cisterna	Sedimentar matéria particulada
Filtração:		
Na linha de água	Após bombeamento	Filtrar sedimentos
Carvão ativado	Na torneira	Remover cloro
Osmose reversa	Na torneira	Remover contaminantes
Camadas mistas	Tanque separado	Capturar material particulado
Filtro lento	Tanque separado	Capturar material particulado
Desinfecção:		
Fervura/destilação	Antes do uso	Eliminar micro-organismos
Tratamento químico (cloro ou iodo)	Na cisterna ou no bombeamento (líquido, tablete / pastilha ou granulado)	Eliminar micro-organismos
Radiação ultravioleta	Sistema de luz ultravioleta deve estar localizado após a passagem por filtro	Eliminar micro-organismos
Ozonização	Antes da torneira	Eliminar micro-organismos
Nanofiltração	Antes do uso	Remove moléculas
Osmose reversa	Antes do uso	Remove íons contaminantes e micro-organismos

Fonte: Palhares (2016).

2.5.3 Reservatório

De acordo com Tomaz (2010), os reservatórios podem ser apoiados, enterrados ou elevados (Figura 18) e o material do reservatório pode ser concreto armado, alvenaria de tijolos comuns, alvenaria de bloco armado, plásticos, poliéster, etc. (Tomaz, 2003). O Quadro 4 apresenta um sobre materiais utilizados em reservatórios, suas características e os cuidados a serem observados para cada material. Em relação à forma do reservatório a ABNT NBR 12217 recomenda que a mesma deve proporcionar máxima economia global em fundação, estrutura, utilização de área disponível, equipamentos de operação e interligação das unidades (ABNT, 1994).

O reservatório também deve conter um extravasor e um tubo de descarga, este último para a limpeza do reservatório, e deve possuir diâmetro que permita o esvaziamento do reservatório em torno de uma hora. Em relação à qualidade da água da chuva dentro do

reservatório alguns cuidados devem ser tomados, são eles: evitar a entrada da luz do sol no reservatório (pois pode proporcionar o desenvolvimento de algas), a tampa do reservatório deve está sempre fechada e a saída do extravasor deve conter grade ou tela que impeça a entrada de animais pequenos (TOMAZ, 2010).

O dimensionamento do volume do reservatório pode ser feito através dos métodos dispostos no anexo A da ABNT NBR 15227, que são eles método de Rippl, método da simulação, método de Azevedo Neto, método prático inglês, método prático alemão e método prático australiano. O dimensionamento pode ser feito também por software como o Netuno, SARA, REZZ dentre outros.

Figura 18 - Tipos de reservatório: (a) reservatório enterrado e (b) reservatório apoiado



Fonte: Palhares (2016).

Quadro 4 - Materiais para cisternas e suas características

Material	Características	Cuidados
Plástico Galão	Disponível no comércio e baixo custo	Utilizar somente novos
Fibra	Disponível no comércio, modificável e móvel	Deve está assentada em piso liso, contínuo e ao nível do chão
Polietileno / Polipropileno	Disponível no comércio, modificável e móvel	Degradável pelos raios ultravioletas. Deve ser pintado ou colorido
Metal Tambores de aço	Disponível no comércio, modificável e móvel	Verificar se foi utilizado para produtos tóxicos. Susceptíveis à corrosão e ferrugem
Tanques galvanizados	Disponível no comércio, modificável e móvel	Susceptíveis à corrosão e ferrugem
Concreto e alvenaria Ferrocimento e Blocos de concreto	Durável e imóvel	Potencial para rachaduras e falhas
Madeira	Estética atrativa, durável e móvel	Alto custo

Fonte: Palhares (2016).

2.6 ESTUDOS SOBRE VIABILIDADE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Com o problema da disponibilidade água potável que vem se agravando a cada ano, vários são os estudos que tratam sobre implantação de medidas convencionais e não-convencionais para conservação da água. Desneste as medidas não-convencionais está os Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais, quem vem sendo amplamente implantados tanto no Brasil, em regiões semi-áridas do Nordeste, como em países como Estados Unidos, Alemanha, Austrália e Japão, por exemplo (MAY, 2004).

Os estudos sobre SAAP abordam várias perspectiva desde estudos sobre a estrutura e componentes do sistema, tecnologias e dispositivos que podem ser incorporados ao sistema, como desenvolvimento de software para dimensionamento de SAAP, e principalmente estudos sobre a viabilidade de implantação de SAAP, onde o principal foco é a análise da viabilidade econômica. Em pesquisa em meio eletrônico encontra-se diversos estudos científicos, principalmente, monografias e dissertações, que abordam sobre o assunto. Essa diversidade de estudos deve-se a grande dimensão geográfica do Brasil e também as distintas características geográficas e climáticas existente no país. Além do mais, os SAAP podem ser implantados em diversos tipos de edificações, como residências, indústrias, instituições e etc. e cada tipologia possui as suas particularidades que necessitam ser analisadas.

Em relação a viabilidade econômica, apesar de os SAAP ser uma medida bastante vantajosa de conservação de água, pois em sua maioria utiliza a própria estrutura da edificação já existente para instalação do sistema de coleta de água da chuva e por apresentar qualidade de água superior a água de captação subterrânea e superficial, e dependendo da finalidade de uso é necessário pouco ou nenhum tratamento, cabe ressaltar que esse tipo de sistema nem sempre é viável economicamente de implantação, e depende do cenário em estudo. Por exemplo, para a situação em que seja necessário um grande volume de reservatório (o que torna o custo de implantação do sistema elevado) e o custo com a tarifa de água seja baixo é uma condição propícia para um sistema inviável economicamente de implantação, de acordo com Breckenfeld (2016). Sobre viabilidade de SAAP, Reis (2016) conclui em seu trabalho *“Avaliação econômica de sistema de aproveitamento de água pluvial em edificação residencial multifamiliar em três capitais brasileiras”*, que:

Implantar um sistema de aproveitamento de água da chuva nem sempre é vantajoso em termos econômicos. Porém, outras vantagens não podem ser deixadas de lado, como a redução da demanda de água potável, fator este de extrema importância em tempos de crise no abastecimento. Armazenar a água pluvial contribui para reduzir o

déficit do sistema de drenagem urbana. Portanto, tanto benefícios diretos como indiretos podem ser obtidos com a implantação dos SPAAP (REIS, 2016, p. 61).

A exemplo de que a viabilidade econômica de SAAP depende do cenário, tem-se o trabalho de Dias (2007) intitulado “*Estudo da viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento de água de chuva em residências na cidade de João Pessoa*”, que trata-se de um estudo sobre implantação de um sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva para três tipo padrão de residência com níveis sócio-econômicos distintos: um popular, um médio e um terceiro de alto padrão. De acordo com o autor, para as residências de nível popular e médio, considerando a tarifa de água da cidade, os SAAP é inviável econômica de implantação. Enquanto para a residência de alto padrão o SAAP é viável economicamente de ser implantado, em virtude do valor mais elevado da tarifa e do maior consumo de água (DIAS, 2007).

Porém vários são os estudos que mostram SAAP viáveis economicamente de ser implantado. De acordo com May (2004), a viabilidade de SAAP depende basicamente de três fatores: precipitação, área de coleta e demanda. Caso esses fatores apresentem valores elevados, o período de recuperação do investimento é curto, logo, conseqüentemente, o sistema é viável (MAY, 2004). Um exemplo de estudo com essas características é o trabalho Lucas (2016), “*Sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais em indústria de laticínios*”, que trata sobre o projeto de captação e aproveitamento de água de chuva na indústria Bunge Alimentos S.A em Brasília. A implantação do sistema irá substituir 27% da demanda de água potável por água de chuva, o que gerará uma economia anual de R\$ 50.000,00 (Cinquenta mil reais), e um período de retorno curto, em torno de 3 anos e cinco meses, tornando o sistema viável economicamente (LUCAS, 2016).

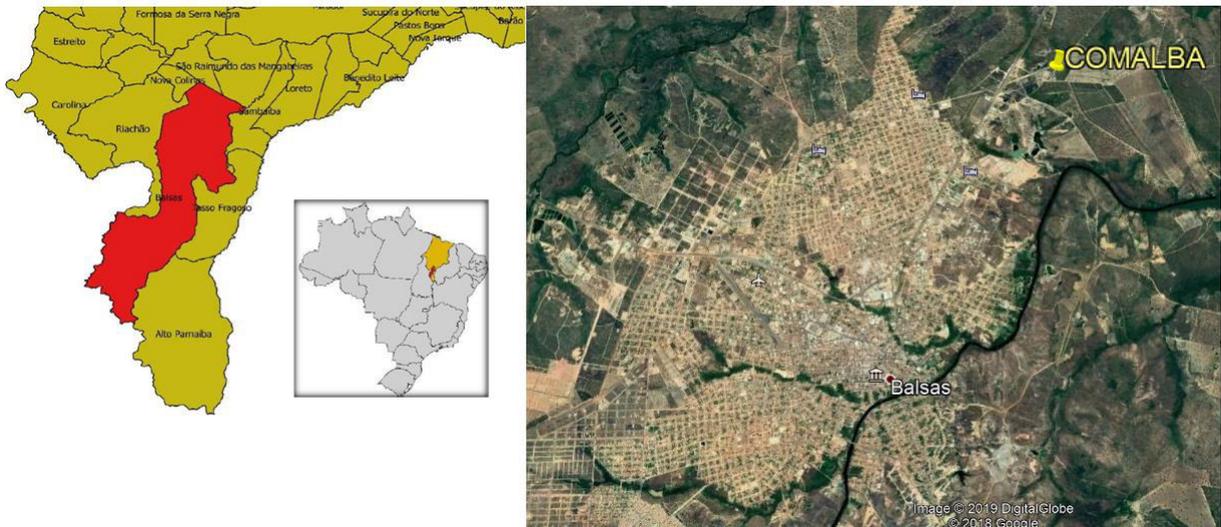
3 METODOLOGIA

A metodologia está dividida em seis tópicos principais que são a sequência para o desenvolvimento desta pesquisa: pesquisa bibliográfica; caracterização da área de estudo; pesquisa de campo; análise e tratamento dos dados de precipitação e dimensionamento do reservatório; dimensionamentos das calhas, condutores e conjunto motobomba do SAAP proposto; e avaliação econômica.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida em uma indústria de laticínios que está localizada próxima a BR 230, Zona Rural da cidade de Balsas, região Sul do Maranhão (Figura 19). O layout da indústria, a planta de cobertura e uma vista vertical estão dispostos no Apêndice A. A indústria possui sede e administração no mesmo local. Atualmente o município possui uma extensão territorial de cerca de 13.141.757 km², e população estimada em 96.826 pessoas (IBGE, 2018). Localizado na Mesorregião Sul do Maranhão, pertencente à Microrregião do Gerais de Balsas, e tem sua economia movimentada pelo Agronegócio.

Figura 19 - Localização da Unidade de Laticínio no município de Balsas/MA



Fonte: Próprio autor e Google Earth (2019).

A indústria de laticínio em estudo é um estabelecimento que tem como atividade principal o processamento de leite, em leite pasteurizado, queijo e bebida láctea. Trata-se de uma cooperativa que objetiva receber, industrializar, classificar, beneficiar, e comercializar o leite

e seus derivados. Diariamente são processados, em média, cerca de 3000 litros de leite. No mês de outubro de 2018 foram recebidos 101.092 litros de leite.

O leite cru é oriundo de unidades rurais do município de Balsas/MA e cidades circunvizinhas. A maior parte do leite é transportada pelo caminhão da cooperativa (Figura 20 - a), mas também é recebido leite das pequenas unidades, onde o transporte é feito em tambores (Figura 20 - b), e de responsabilidade do fornecedor. Ao chegar na cooperativa o leite é recebido na plataforma de recepção (Figura 20 - c - d), onde é submetido as análises de rotinas (Figura 20 - e), e às demais que forem necessárias. A partir de então, se considerando de boa qualidade é direcionado aos tanques de recepção (Figura 20 - f), e submetido à pré-filtração. Após a filtração o leite é resfriado a uma temperatura menor que 5 °C e estocado a mesma temperatura. Depois disso, o leite será direcionado para cada processo de industrialização, ou seja, para a produção de bebida láctea e para a produção do queijo.

O uso da água nos processos industriais vai desde a incorporação da água nos produtos até a lavagem de materiais, equipamentos e instalações, a utilização em sistemas de refrigeração e geração de vapor. O consumo de água potável na indústria para limpeza dos ambientes da indústria, limpeza dos equipamentos da indústria, limpeza do caminhão tanque e dos tambores que transportam o leite e consumo de água na caldeira será levantado in loco na cooperativa. A água incorporada nos produtos e a utilizada no sistema de refrigeração serão estimadas.

Saraiva et al. (2009), em seu estudo “*Consumo de Água e geração de efluentes em uma indústria de laticínios*”, apresenta coeficientes para estimar o consumo de água em indústrias de laticínios, a partir da quantidade de litros de leite processados. Em seu estudo foi encontrado o coeficiente de $3,2 \text{ L}_{\text{água}}/\text{L}_{\text{leite}}$, para uma indústria de laticínios que recebe em média $4000 \text{ L}_{\text{leite}}/\text{dia}$. No mesmo estudo apresenta também dados onde o consumo de água por litro de leite varia de 0,9 a $3,5 \text{ L}_{\text{água}}/\text{L}_{\text{leite}}$ (SARAIVA et al., 2009). Considerando este estudo de Saraiva e as informações colhidas na cooperativa, será usado um coeficiente de $2,4 \text{ L}_{\text{água}}/\text{L}_{\text{leite}}$ para estimar a demanda total de água na cooperativa por dia.

Figura 20 - Ilustração do processo de transporte a armazenagem do leite na cooperativa: (a) caminhão tanque de transporte do leite, (b) transporte em tambores, (c) e (d) plataforma de recepção do leite, (e) análise da qualidade do leite e (f) tanques de recepção, filtragem, resfriamento e estocagem do leite.

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



Fonte: Próprio autor.

A água utilizada em todos os processos na indústria é oriunda de captação subterrânea por meio de poço semi-artesiano (Figura 21-a) perfurado exclusivamente para o abastecimento da indústria. O reservatório de água da indústria tem capacidade de 10.000 L (Figura 21-b). A potência da bomba utilizada na indústria será estimada, devido não haver esta informação. A estimativa será feita pelo tempo gasto para encher o reservatório e pela profundidade do poço, informações estas repassadas pela gerente da cooperativa.

Figura 21 - Abastecimento de água na indústria: (a) Poço semi-artesiano e (b) reservatório de água da indústria



Fonte: Próprio autor.

3.2 PESQUISA DE CAMPO

Em campo, ou seja, na indústria, foram coletados os seguintes dados: demanda de água não potável na indústria e área de contribuição. A forma como foi determinado à demanda e área de contribuição está descrita a seguir.

3.2.1 Demanda de água não potável na indústria

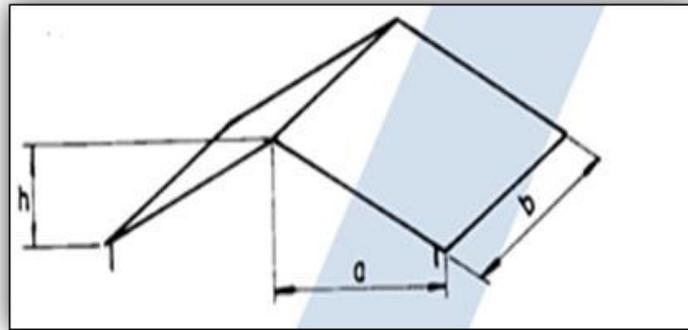
A demanda de água foi obtida através da determinação da vazão de cada mangueira e do tempo de utilização das mesmas, no período de um dia, para a limpeza dos ambientes. As atividades realizadas com as mangueiras para a limpeza dos ambientes são lavagem de piso, parede e teto.

3.2.2 Área de contribuição

A área de contribuição foi determinada conforme especifica a NBR 10844:1989-Instalações prediais de águas pluviais, item 5.2 Área de contribuição (ABNT, 1989). Como a superfície de contribuição da área em estudo é inclinada, a área de contribuição foi calculada pela Equação 01, onde cada variável está ilustrada na Figura 22.

$$A = \left(a + \frac{h}{2}\right) b \quad (1)$$

Figura 22 - Indicação para cálculo da área de contribuição de superfície inclinada



Extraído de: ABNT (1989).

3.3 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

Com os dados de campo, e com os dados de precipitação, que foram obtidos do site da Agência Nacional das Águas (ANA), foi determinado o volume de água coletado no telhado e o volume do reservatório, pelos métodos especificados na ABNT NBR 15.527 - Água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos. Após a determinação do volume do reservatório por cada método especificado na norma, foi feito a análise de qual volume era o mais adequado para dimensionamento do reservatório. Além disso, foram comparados os resultados dos volumes de reservatórios encontrados com aplicação dos métodos com o volume obtido através da utilização do software NETUNO e escolhido o volume de reservatório mais adequado.

3.3.1 Precipitação Pluviométrica

Os dados de precipitação foram obtidos através da base de dados do Portal HidroWeb, disponível no site da ANA. Trata-se da série histórica de 1982 a 2017, da estação Balsas (código 00746006) (ANA, 2018). Essa estação foi escolhida em virtude ser a que apresentava a maior série histórica e os dados com menos falha. Com base nas precipitações disponibilizadas no banco de dados, foram calculadas as precipitações médias mensais e anuais. Tais precipitações foram usadas tanto para o dimensionamento do volume de água de chuva coletado, quanto para a determinação do volume do reservatório. Cabe ressaltar, que para o método de Rippl, um dos métodos usados para a determinação do volume do reservatório, foi usado apenas os dados de precipitação de 2007 a 2017, pois de acordo com Tomaz (2010), pode-se usar séries sintéticas para facilitar os cálculos. O uso de séries sintéticas faz-se relevante, já que segundo Tomaz (2012) o método de Rippl apresenta resultados superdimensionados, e quanto maior a série maior será o volume do reservatório.

3.3.2 Volume de água coletado no telhado

O volume de água coletado no telhado foi determinado conforme o item 4.3.2, da NBR 15.527:2007 – Água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos, através da seguinte equação:

$$V = P \times A \times C \times \eta_{\text{fator de captação}} \quad (2)$$

Onde:

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

P é a precipitação média anual, mensal ou diária;

A é a área coletada;

C é o coeficiente de escoamento superficial da cobertura;

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

3.3.3 Volume do reservatório: métodos da NBR 15.527: 2007

O volume do reservatório a ser utilizado na indústria foi determinado adotando os métodos disponibilizados no Anexo A, da NBR 15.527:2007 – Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Os métodos foram: Rippl, simulação, Azevedo Neto, prático alemão, prático inglês e prático australiano (ABNT, 2007).

➤ Método de Rippl

No método de Rippl, o volume do reservatório é dado pela somatória do volume de água no reservatório para um determinado período de tempo ($S_{(t)}$), considerando a precipitação de séries históricas mensais ou diárias.

$$V = \sum S_{(t)}, \text{ somente para valores de } S_t > 0 \quad (3)$$

O volume de água no reservatório para um determinado período de tempo ($S_{(t)}$) é obtido pela diferença da demanda de água e o volume de chuva aproveitável em um período de tempo.

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)}, \text{ sendo } \sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)} \quad (4)$$

O volume de chuva aproveitável no tempo ($Q_{(t)}$) é calculado pelo produto do coeficiente de escoamento da superfície de cobertura pela precipitação pluviométrica e a área de captação.

$$Q_{(t)} = C \times P_{(t)} \times A \quad (5)$$

Onde:

$Q_{(t)}$ é o volume de chuva aproveitável no tempo t;

$C_{(t)}$ é o coeficiente de escoamento da superfície de cobertura;

$P_{(t)}$ é a precipitação pluviométrica no tempo t;

$A_{(t)}$ é a área de captação;

$S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório para o tempo t;

$D_{(t)}$ é a demanda de água.

➤ Método da simulação

De acordo com Rupp, Munarim e Ghisi (2011), este método baseia-se na determinação do percentual de consumo que será atendido em função de um tamanho de reservatório pré-definido. Logo, é possível determinar a eficiência do sistema, visto que os períodos em que o reservatório está suficientemente abastecido com água pluvial são relacionados com todo o período simulado. Cabe ressaltar que o período simulado pode ser apenas de um ano, porém quanto maior for a série histórica de precipitação, maior será a credibilidade do método (TOMAZ, 2003 apud RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011).

A evaporação da água não deve ser levada em conta neste método. Aplica-se a equação da continuidade para um reservatório finito para um determinado mês (ABNT, 2007):

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad , \text{sendo que } 0 \leq S_{(t)} \leq V \quad (6)$$

$$Q_{(t)} = C \times P_{(t)} \times A \quad (7)$$

Onde:

$S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório para o tempo t ;

$S_{(t-1)}$ é o volume de água no reservatório para o tempo $t-1$;

$Q_{(t)}$ é o volume de chuva no tempo t ;

$D_{(t)}$ é a demanda ou consumo de água no tempo t ;

$C_{(t)}$ é o coeficiente de escoamento da superfície de cobertura;

$P_{(t)}$ é a precipitação pluviométrica no tempo t ;

$A_{(t)}$ é a área de captação;

V é o volume do reservatório pré-fixado.

➤ Método Azevedo Neto

O método de Azevedo Neto é o método empírico precedente disposto na NBR 15527 (ABNT, 2007). Onde o volume do reservatório de água pluvial é obtido pela Equação 8.

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (8)$$

Onde:

P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);

A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²);

T é o valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca;

V é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

➤ Método prático alemão

O método prático alemão trata-se de um método empírico em que o volume do reservatório de água pluvial adota o menor valor entre 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável.

$$V_{\text{adotado}} = \text{mínimo entre (V e D)} \times 0,06 \text{ (6\%)} \quad (9)$$

Onde:

V = volume anual de precipitação aproveitável (L);

D = demanda anual de água não potável (L);

V_{adotado} é o valor numérico do volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

➤ Método prático inglês

O método prático inglês é um método empírico apresentado na NBR 15527 (ABNT, 2007). Para o dimensionamento do reservatório de água pluvial, deve usar a Equação 10.

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (10)$$

Onde:

V é o volume de água pluvial, ou o volume do reservatório de água pluvial (L);

P é a precipitação média anual (mm);

A é a área de captação em projeção no terreno (m²).

➤ Método prático australiano

Neste método o cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório. Primeiro calcula-se o volume de chuva (Equação 11), e posteriormente o volume de chuva que estará no reservatório no final do mês (Equação 12), para distintos valores pré-determinados de reservatórios (ABNT, 2007).

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (11)$$

Onde:

C é o coeficiente de escoamento da superficial, geralmente 0,80;

P é a precipitação média mensal;

I é a intercepção da água que molha as superfícies e perda por evaporação, geralmente 2 mm;

A é a área de coleta;

Q é o volume mensal produzido pela chuva;

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad (12)$$

Onde:

$V_{(t)}$ é o volume de água que está no tanque no fim do mês t;

$V_{(t-1)}$ é o volume de água que está no tanque no começo do mês t;

$Q_{(t)}$ é o volume mensal produzida pela chuva no mês t;

$D_{(t)}$ é a demanda mensal;

Recomenda-se os valores de confiança entre 90% e 99%:

$$\text{Confiança} = 1 - P_r \quad (13)$$

$$P_r = \frac{N_r}{N} \quad (14)$$

Onde:

P_r é a falha;

N_r é o número de meses em que o reservatório não atendeu a demanda, isto é, que $V_t = 0$

N é o número de meses considerado, geralmente 12 meses.

3.3.4 Volume do Reservatório: programa Netuno

O volume do reservatório também foi calculado através do programa Netuno, versão 4. O programa Netuno é um software usado para a simulação de sistema de aproveitamento de água pluvial, onde além de simular o volume do reservatório do sistema realiza também a análise econômica do mesmo. Foi escolhido para ser usado neste trabalho devido ser um software gratuito, por apresentar um manual do usuário bem detalhado e por já ter sido em outros trabalhos acadêmicos para a simulação de volume de reservatório. Para a simulação de volume de reservatório para SAAP os dados de entrada são: dados de precipitação, área de contribuição, demanda total de água, número de moradores, percentual da demanda total a ser suprida por água pluvial, coeficiente de escoamento inicial, reservatório superior e reservatório inferior. A interface do Netuno 4 está ilustrada na Figura 23.

Figura 23 - Interface do programa Netuno 4

Fonte: próprio autor.

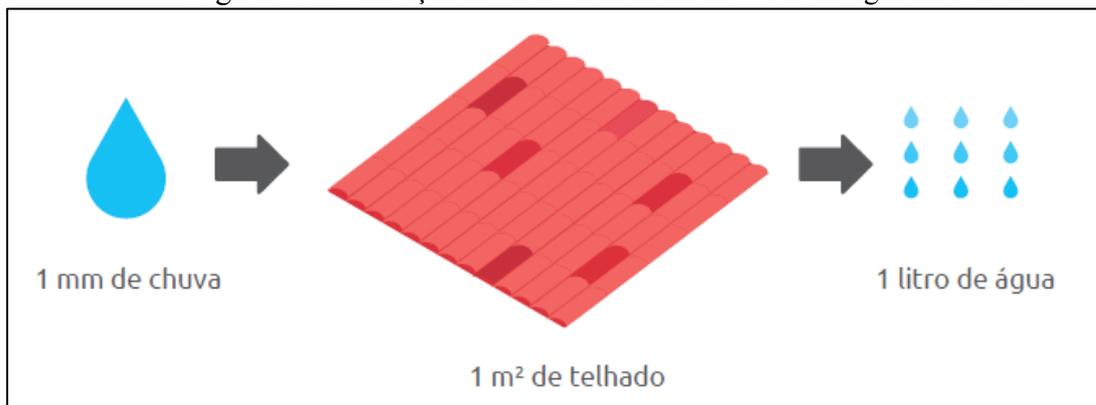
➤ Dados de precipitação

Os dados de precipitação devem estar em uma base diária, em um arquivo externo, em formato Valores Separado por Vírgula (CSV), vetor-coluna. Cabe ressaltar que os dados de precipitação não devem apresentar descontinuidade, pois o programa irá considerar como dias

em que não houve chuva e irá contabilizá-lo, e deste modo o resultado não apresentará confiabilidade. Além dos dados de precipitação é necessário informar a data inicial da série histórica que está sendo utilizada, assim como o valor do descarte de escoamento inicial, em milímetros (mm).

O descarte inicial é o volume de escoamento necessário para que não seja levada sujeira acumulada no telhado para o reservatório nas primeiras chuvas (GHISI; CORDOVA, 2014). De acordo com o Manual para Captação Emergencial e Uso Doméstico de Água de Chuva, o recomendado é descartar o primeiro 1 mm de água de chuva (Figura 24), porém nas grandes cidades devido a alta carga de poluentes, recomenda-se descartar 2 mm de chuva (ZANELLA, 2015). Os dados de precipitação, data inicial, descarte de escoamento inicial e número de registro, este é preenchido automaticamente após carregar os dados de precipitação, são inseridos na interface do programa Netuno 4, no espaço apresentado na Figura 25.

Figura 24 - Ilustração do volume de descarte inicial de água de chuva



Extraído de: Zanella (2015).

Figura 25 - Interface principal para carregar os dados de precipitação pluviométrica e iniciar o processo de entrada de dados

Carregar dados de precipitação	
Número de registros	
Data inicial (dd/MM/yyyy)	
Descarte escoamento inicial (mm)	

Fonte: próprio autor.

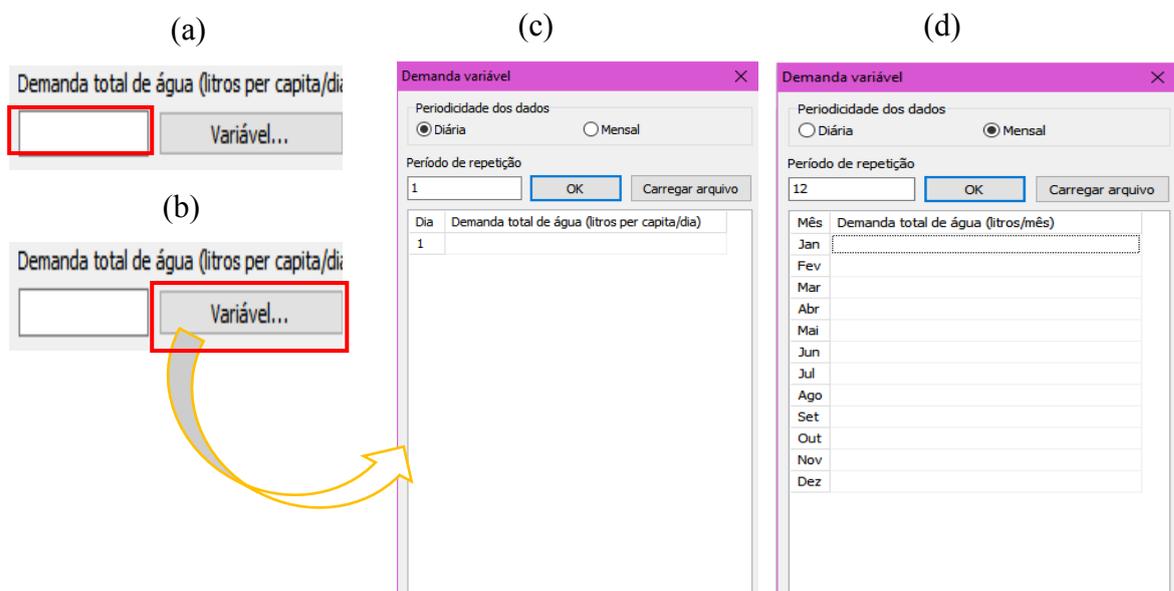
➤ Área de captação

A área de captação é calcula conforme o item 5.2 Área de contribuição da NBR 10844: 1989. Para este estudo área de captação será calculada conforme o item 3.4.2 deste trabalho. A unidade da área a ser inserida no programa é em m².

➤ Demanda total de água

A demanda total de água representa a quantidade de água usada na edificação, que pode ser diária ou mensal. A entrada de dado de demanda no Netuno pode ser fixa ou variável. Quando escolhida a opção de demanda fixa o valor inserido será da demanda diária de água potável per capita (Figura 26-(a)). Quando escolhida a opção de demanda variável (Figura 26 –(b)), pode se optar por usar a demanda diária de água potável per capita (litros per capita/dia) (Figura 26 – (c)) ou a demanda mensal (litros/mês) (Figura 26 – (d)). Os dados de demanda variável podem ser inseridos de forma manual ou carregados de um arquivo de formato CSV.

Figura 26 - Interface do Netuno 4 para demanda total de água: (a) demanda fixa, (b) demanda varável, (c) demanda variável opção diária e (d) demanda variável opção mensal



Fonte: Próprio autor.

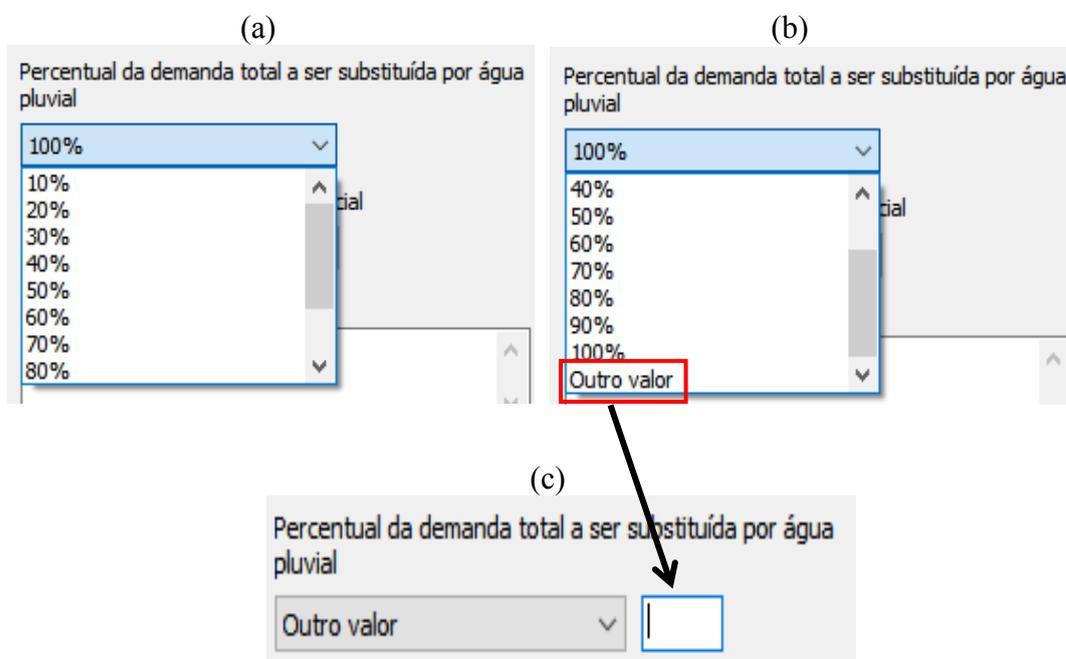
➤ Número de moradores

O número de moradores é utilizado para calcular demanda de água total e deve ser inserido manualmente quando se optar por usar demanda de água diária. Nos casos em que se usa demanda de água mensal, este número automaticamente é 1, pois o valor da demanda já vai está considerando o total de moradores ou usuários.

➤ Percentual da demanda total a ser suprida por água pluvial

Esse percentual significa o valor da demanda total de água que se deseja substituir pelo uso de água pluvial. Deve ser maior que 0% e menor que 100%. Na interface do Netuno tem opção de se escolher valores predefinidos em intervalos de 10% (Figura 27 –(a)), caso seja necessário um valor diferente dos predefinidos existe também a opção “outros valores” (Figura 27- (b)-(c)).

Figura 27 - Interface do Netuno 4 para percentual da demanda total a ser suprida por água pluvial: (a) escolha de valore predefinidos em intervalo de 10%, (b) opção para escolher outro valor e (c) local da inserção de outro valor



Fonte: Próprio autor.

➤ Coeficiente de escoamento superficial

Esse coeficiente representa a quantidade de água coletado após a subtração de perdas com absorção e evaporação da água de chuva ao entrar em contato com a superfície de captação. Assim este coeficiente depende do tipo de material da superfície que está captando a água. A Tabela 02 deste trabalho apresenta o valor deste coeficiente para alguns tipos de material. O valor do referido coeficiente varia de 0 a 1, e na interface do programa Netuno há valores predefinidos no intervalo de 0,1, assim como existe a opção para escolha de outro valor. O processo para escolha do coeficiente é semelhante ao ilustrado na Figura 27.

➤ Reservatório superior

O reservatório pode existir ou não, ou seja, dependerá da configuração escolhida para o projeto do SAAP. Assim, no Netuno 4 tem-se três opções de entrada de dado para o campo reservatório superior (Figura 28 – (a)). As duas primeiras opções são para os casos em que houver reservatório superior, onde se pode escolher entre *volume igual à demanda média de água pluvial* ou *entrar com volume desejado* - nos dois casos deve-se indicar o volume em litros e a porcentagem ou volume abaixo do qual deve haver recalque (Figura 18 –(b)). E a última opção é para os casos em que não houver reservatório superior.

Figura 28 - Interface do Netuno 4 para reservatório superior: (a) campo de entrada do reservatório superior e (b) Opção de entrar com o volume do reservatório

(a)

(b)

➤ Reservatório inferior

Para o volume do reservatório inferior o Netuno permite duas entradas de dados: uma para simular para um *volume conhecido de reservatório* (Figura 29) e a outra para *um reservatório com diversos volumes*, isto é, volume determinado pelo usuário e volume definido pelo Netuno, respectivamente. Para a simulação com volume conhecido o Netuno calcula os valores médios para potencial de economia de água potável, percentual de dias que a demanda é atendida completamente, parcialmente e que a demanda não é atendida, isto para o período em análise, que é o mesmo período da precipitação. Além disso, o Netuno calcula o volume consumido de água pluvial e potável, volume de água extravasado, e para os casos em que há reservatório superior calcula também a média de recalque diária.

Figura 29 - Interface do Netuno 4 para reservatório inferior para a opção simulação para reservatório com volume conhecido

The image shows a software interface for 'Reservatório inferior'. It contains two radio button options: 'Simulação para reservatório com volume conhecido' (which is selected) and 'Simulação para reservatórios com diversos volumes'. Below these options, there is a section titled 'Simulação' which includes a text input field labeled 'Volume do Reservatório inferior (litros):'.

Fonte: Próprio autor.

Para a simulação reservatórios com diversos volumes deve-se preencher o campo volume máximo do reservatório, em litros, e o intervalo entre volumes também em litros. Além disso, deve-se também marcar a opção “volume ideal para o reservatório inferior” e indicar a diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial ($\%/m^3$) (Figura 30). Para essa opção o resultado apresentado será um gráfico (potencial de economia de água potável *versus* uso de água pluvial), com a indicação do volume ideal para o reservatório inferior. Outros gráficos também podem ser gerados, são eles: consumo de água pluvial, volume extravasado e atendimento da demanda de água pluvial. Todos esses resultados também podem ser visualizados em uma planilha que pode ser exportada em formato CSV (GHISI; CORDOVA, 2014).

Figura 30 - Interface do Netuno 4 para reservatório inferior para a opção simulação para reservatórios com diversos volumes

The screenshot shows a software interface for simulating a lower reservoir. It features two radio button options under the heading 'Reservatório inferior': 'Simulação para reservatório com volume conhecido' (unselected) and 'Simulação para reservatórios com diversos volumes' (selected). Below this, the 'Intervalo da simulação' section contains three input fields: 'Volume máximo (litros)', 'Intervalo entre volumes (litros)', and 'Diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial (%/m³)'. A checkbox labeled 'Indicar volume ideal para o reservatório inferior' is checked. At the bottom, there are three buttons: 'Simular', 'Salvar simulação atual', and 'Limpar campos'.

Fonte: Próprio autor.

3.4 DIMENSIONAMENTO DAS CALHAS, CONDUTORES E CONJUNTO MOTOBOMBA DO SAAP PROPOSTO

De acordo com a NBR 10844:1989, a vazão de referência usada no dimensionamento de calhas e condutores é denominada Vazão de projeto (item 5.3 da referida NBR). Esta vazão é calculada com base na área de contribuição e na intensidade pluviométrica do local de estudo.

➤ Intensidade Pluviométrica

A determinação da intensidade pluviométrica é feita a partir da fixação de valores adequados para duração da precipitação e o período de retorno. A ABNT NBR 10844 recomenda o tempo de 5 minutos para a duração da precipitação, e em relação ao período de retorno a referida norma informa que o mesmo deve ser fixado conforme as características da área a ser drenada (Quadro 5) (ABNT, 1989). A intensidade pluviométrica foi calculada pela equação abaixo:

$$I_m = \frac{K \cdot T r^a}{(t+b)^c} \quad (15)$$

Onde:

I_m = intensidade máxima média de precipitação (mm/h);

T_r = período de retorno (anos);

t = duração da precipitação (minutos);

K , a , b e c = parâmetros ajustados com base nos dados pluviométricos locais. Os valores para a cidade de Balsas (estação 00746006) estão dispostos na Tabela 5 (CAMPOS et al., 2015).

Quadro 5 - Período de retorno para projeto de águas pluviais

Período de retorno (anos)	Característica da área drenada
Tr = 1	Áreas pavimentadas, onde empoçamentos possam ser tolerados
Tr = 5	Coberturas e/ou terraços
Tr = 25	Para coberturas onde empoçamentos e ou extravasamento não possam ser tolerados

Fonte: Adaptado de ABNT (1989).

Tabela 4 - Parâmetros de intensidade pluviométrica para a estação 00746006 (Balsas/MA)

Código	Município	Latitude	Longitude	K	a	b	c	r^2
00746006	Balsas	-7,523	-46,034	928,110	0,155	10	0,742	0,994

Fonte: Campos et al. (2015).

➤ Vazão de projeto

A vazão de projeto (Q) foi calculada pela fórmula abaixo. O produto da intensidade pluviométrica (I) em mm/h pela área de contribuição (A) em m^2 ao ser dividido por 60 resulta na Q em L/min (ABNT, 1989).

$$Q = \frac{I \cdot A}{60} \quad (16)$$

3.4.1 Calhas

A seção das calhas foi determinada conforme especifica o item 5.5 Calhas, NBR 10844:1989 - Instalações prediais de águas pluviais. O dimensionamento pode ser feito pela fórmula de Manning-Strickler, juntamente com a Tabela 5 – Coeficientes de rugosidade. Para o caso de optar por calhas semicirculares, o dimensionamento pode ser feito direto pela Tabela 6 - Capacidades de calhas semicirculares com coeficientes de rugosidade $n = 0,011$ (Vazão em L/min), da referida norma.

$$Q = K \frac{S}{n} R_H^{2/3} i^{1/2} \quad (17)$$

Onde:

Q = Vazão de projeto, em L/min;

R_H = raio hidráulico, em m;

S = área da seção molhada, em m^2 ;

P = perímetro molhado, em m;

n = coeficiente de rugosidade (Ver Tabela 5);

i = declividade da calha, em m/m;

Tabela 5 - Coeficientes de rugosidade

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

Extraído de: ABNT (1989).

Tabela 6 - Capacidades de calhas semicirculares com coeficientes de rugosidade $n = 0,011$ (Vazão em L/min)

Diâmetro interno (mm)	Declividades		
	0,5%	1%	2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1.167	1.634

Extraído de: ABNT (1989).

3.4.2 Condutores Verticais

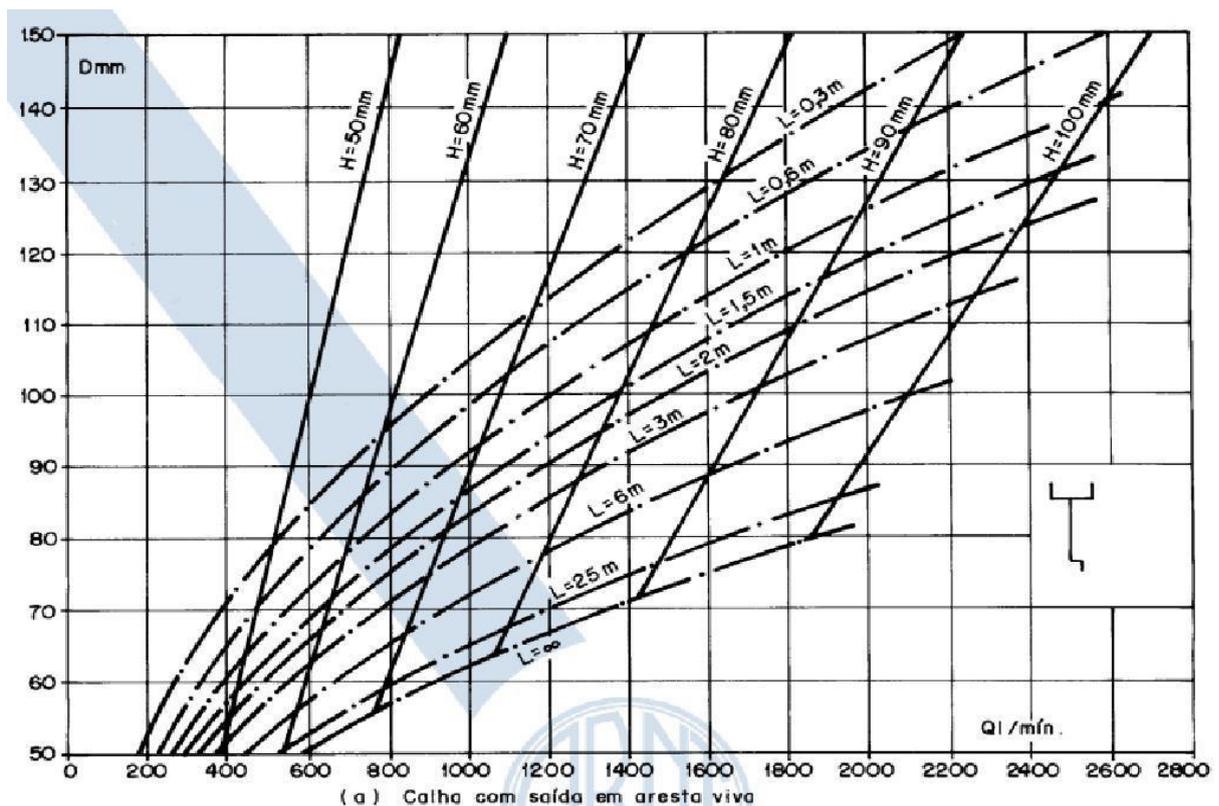
O diâmetro dos condutores verticais foi determinado conforme especifica o item 5.6 Condutores verticais, da NBR 10844:1989 - Instalações prediais de águas pluviais. O dimensionamento dos condutores verticais deve ser feito a partir dos dados abaixo. O diâmetro interno (D) do condutor vertical é obtido através dos ábacos da Figura 31 e 32.

$$Q = \text{Vazão de projeto, em L/min}$$

$$H = \text{altura da lâmina de água na calha, em mm}$$

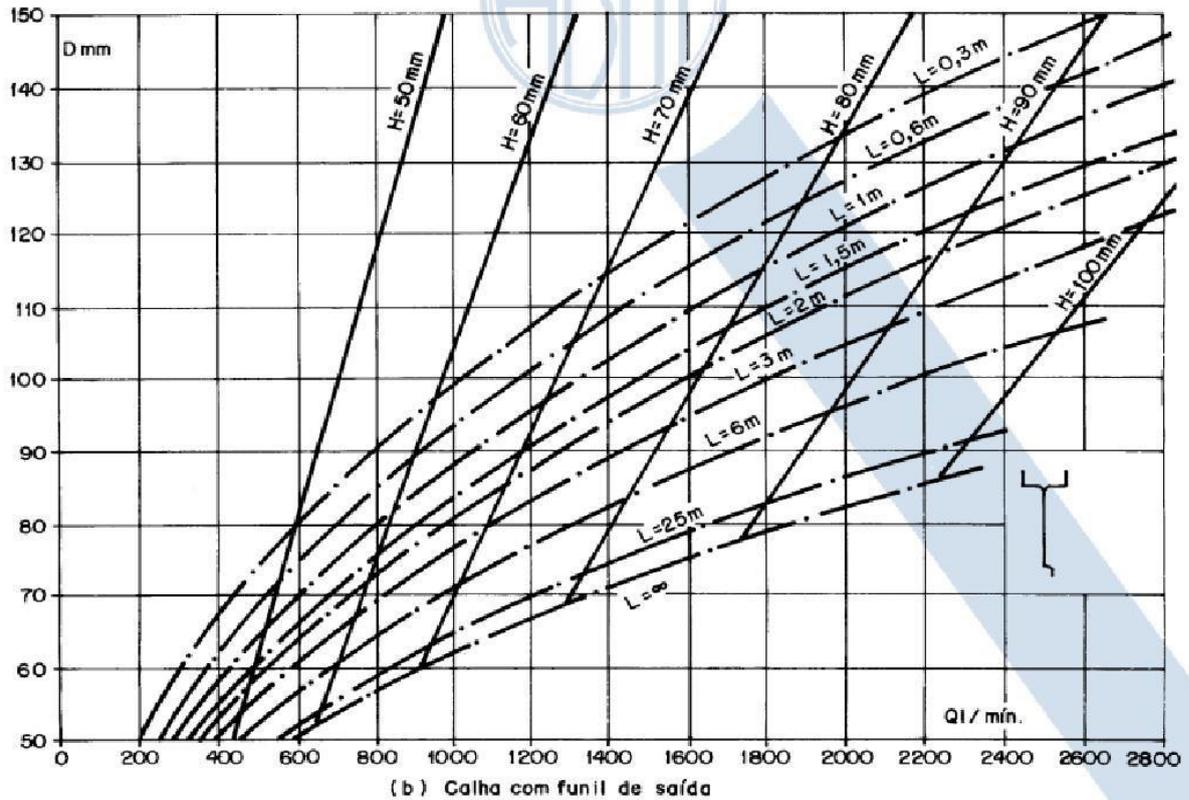
$$L = \text{comprimento do condutor vertical, em m}$$

Figura 31 - Ábaco para determinação do diâmetro dos condutores verticais para calhas com saída em aresta viva



Extraído de: ABNT (1989).

Figura 32 - Ábaco para determinação do diâmetro dos condutores verticais para calhas com funil de saída



Extraído de: ABNT (1989).

3.4.3 Condutores Horizontais

O diâmetro dos condutores horizontais foi determinado conforme especifica o item 5.7 Condutores horizontais, da NBR 10844:1989 - Instalações prediais de águas pluviais. O diâmetro interno foi encontrado na Tabela 7 - Capacidade de condutores horizontais de seção circular, ao conhecer a vazão de projeto (L/min), o coeficiente de rugosidade e a declividade, e considerar a altura da lâmina d' água do escoamento igual a $\frac{2}{3}$ do diâmetro interno (D) do tubo.

Tabela 7 - Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min)

	Diâmetro interno (D) (mm)	$\underline{n} = 0,011$				$\underline{n} = 0,012$				$\underline{n} = 0,013$			
		0,5 %	1 %	2 %	4 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
2	75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
3	100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
4	125	370	521	735	1.040	339	478	674	956	313	441	622	882
5	150	602	847	1.190	1.690	552	777	1.100	1.550	509	717	1.010	1.430
6	200	1.300	1.820	2.570	3.650	1.190	1.670	2.360	3.350	1.100	1.540	2.180	3.040
7	250	2.350	3.310	4.660	6.620	2.150	3.030	4.280	6.070	1.990	2.800	3.950	5.600
8	300	3.820	5.380	7.590	10.800	3.500	4.930	6.960	9.870	3.230	4.550	6.420	9.110

Nota: As vazões foram calculadas utilizando-se a fórmula de Manning-Strickler, com a altura de lâmina de água igual a 2-3 D.

Extraído de: ABNT (1989).

3.4.4 Potência do conjunto Motobomba

A potência do conjunto Motobomba é o trabalho realizado pelo líquido ao passar pela bomba por unidade de tempo, para transportar a vazão (Q) do Reservatório inferior (RI) para o Reservatório superior (RF), vencendo a altura manométrica total (H_m) (SOARES, 2011). A mesma foi determinada pela Equação 16:

$$P_{(CV)} = \frac{\gamma Q H_m}{75 \eta} \quad (18)$$

$$H_m = H_g + h_f^{\text{total}} \quad (19)$$

$$h_f^{\text{total}} = h_r + h_s \quad (20)$$

Onde:

$P_{(CV)}$ = Potência em cv;

H_g = Desnível geométrico (m);

γ = Peso específico do fluido (kgf/m^3);

h_f^{total} = Perda de carga total;

Q = Vazão em (m^3/s);

h_r = Perda de carga no recalque;

H_m = Altura manométrica (m);

h_s = Perda de carga na sucção.

η = Rendimento ou eficiência global (%);

3.5 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Após o dimensionamento do SAAP foi realizado o levantamento de custos, para a implantação e operação do sistema, e dos benefícios da implantação do SAAP, e por fim a análise da viabilidade econômica. A avaliação econômica para verificação da viabilidade de implantação do SAAP foi realizada pelos seguintes indicadores financeiros: Valor Presente Líquido (VPL), Relação Benefício/Custo (B/C) e Período de Retorno do Investimento (*Payback*).

3.5.1 Custos totais

O custo do sistema é composto pelos custos do reservatório, custos contingenciais e custos de operação e manutenção. O custo do reservatório inclui o reservatório inferior, o reservatório superior e a bomba, caso haja sistema elevatória. Os custos contingenciais são os custos referentes a projeto, despesas não esperadas, reservatório de autolimpeza, calhas, tubulações e demais dispositivos. Já o custo de operação refere-se à energia consumida pelo sistema elevatório e o de manutenção refere-se ao custo com a manutenção do sistema ao longo da sua vida útil.

O custo do reservatório pode ser obtido através da tabela de composição de serviço do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), por pesquisa de preço no local de implantação da obra ou fornecedor mais próximo ou pelas lojas virtuais. Neste trabalho o custo do reservatório foi determinado por pesquisa de preço em lojas virtuais. De acordo com Tomaz (2003 apud SAMPAIO, 2013), os custos contingenciais podem ser estimados em 30% do valor do custo do reservatório, esta relação é válida, pois quanto maior for o custo do reservatório consequente maior serão os custos contingenciais. E para fechar o custo total deve-se somar o custo de manutenção e operação anual de 6% do custo do reservatório do SAAP durante o período de vida útil do sistema (TOMAZ, 2003 apud SAMPAIO, 2013). O custo de implantação e operação foi calculado pela equação 21.

$$CM_{SAAP} = \sum_{n=1}^{TH} 0,06 \frac{CC_{SAAP}(1+i)^n}{(1+j)^n} \quad (21)$$

Onde:

CM_{SAAP} = custo total de manutenção do SAAP (R\$);

TH = tempo de horizonte do SAAP (anos);

CC_{SAAP} = custo de construção do SAAP (R\$);

i = taxa de aumento anual do custo de construção do SAAP (% a.a);

j = taxa de desconto para trazer os custos de manutenção e operação a valores presentes (% a.a).

A taxa de aumento anual dos custos de construção foi considerada como a expectativa de aumento dos valores do SINAPI durante o tempo de horizonte do projeto que será o tempo de vida útil do sistema de 20 anos. Apesar de o custo não ser coletado pela tabela SINAPI, esta traz os valores de custos e índices da construção civil com a correção monetária mensalmente, logo o aumento de valores do SINAPI representa em média o aumento dos custos com materiais e serviços da construção civil. E a taxa de desconto foi considerada igual à taxa mínima de atratividade. A taxa de mínima de atratividade é 70% do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC) mais a taxa referencial (TR), quando o SELIC for até 8,5% e quando for maior que 8,5% ao ano, a taxa mínima de atratividade é de 50% do SELIC mais a taxa de referencial. Este cálculo é o mesmo da caderneta de poupança. Cabe ressaltar que esse cálculo do custo total de manutenção é para o início do projeto, ou seja, para o valor presente (SAMPAIO, 2013).

3.5.2 Benefícios totais

Como o sistema de abastecimento da cooperativa não é concessionária, logo não se paga pela água utilizada, assim a economia com a implantação do SAAP será o saldo da subtração do valor gastos com energia para o bombeamento de água potável que será substituído por água pluvial com o valor gasto com energia pelo bombeamento do SAAP (Equação 22). E o benefício total será esta economia de gastos com bombeamento que trazido para o valor presente foi calculado pela equação 23, considerando um TH de 20 anos, assim como foi considerado para os custos.

$$E_{SAAP} = CE_{\text{ÁGUA POTÁVEL}} - CE_{SAAP} \quad (22)$$

Onde:

E_{SAAP} = economia de gasto com energia com substituição de água potável por água pluvial (R\$);

$CE_{\text{ÁGUA POTÁVEL}}$ = consumo de energia para bombeamento de água potável (porcentagem que será substituída por água pluvial) (R\$);

CE_{SAAP} = consumo de energia para o bombeamento de água pluvial (R\$).

$$BT_{TOTALIS} = \sum_{n=1}^{TH} \frac{E_{SAAP}(1+i)^n}{(1+j)^n} \quad (23)$$

Onde:

$BT_{TOTALIS}$ = Benefícios totais com implantação do SAAP (R\$);

E_{SAAP} = economia de gasto com energia com substituição de água potável por água pluvial (R\$);

i = taxa de aumento anual do custo da tarifa de energia (% a.a);

j = taxa de desconto para trazer os custos de manutenção e operação a valores presentes (considerada igual à taxa mínima de atratividade) (% a.a).

3.5.3 Valor Presente Líquido (VPL)

Este método consiste na somatória do fluxo de caixa do projeto, com as entradas (receitas) e saídas (despesas), assim esse método possibilita comparar os valores investidos e os retornos esperados. A avaliação se baseia nos seguintes critérios: se $VPL > 0$, ou seja, resultado positivo, o projeto é considerado atraente; se $VPL = 0$, o projeto é considerado indiferente; e se $VPL < 0$, o projeto deve ser rejeitado (CORDOVA, 2009).

$$VPL(t) = -I_0 + \sum_{n=1}^t \frac{FCL(n)}{(1+i)^n} \quad (24)$$

Onde:

$VPL(t)$ = é o valor presente líquido em um dado período t (R\$);

I_0 = é o custo de construção do sistema de captação de águas pluviais (R\$);

n = é o período para o qual o cálculo contido no somatório está sendo realizado;

$FCL(n)$ = é o fluxo de caixa líquido no período n , ou seja, a diferença entre a economia no consumo de energia e os custos de manutenção do sistema (R\$);

i = é a taxa mínima de atratividade (adimensional).

3.5.4 Relação Benefício/Custo (B/C)

Este método consiste em um balanço entre os custos e os benefícios. Os custos estão relacionados com a implantação, operação e manutenção do sistema, enquanto os benefícios estão relacionados aos recursos que serão economizados com a utilização de água da chuva. Esta relação está expressa na Eq. (25) (SAMPAIO, 2013).

$$B/C = \frac{\text{Benefícios}_{\text{totais}}}{\text{Custo}_{\text{implantação}} + \text{Custos}_{\text{operação}} + \text{Custos}_{\text{manutenção}}} \quad (25)$$

3.5.5 Período de Retorno do Investimento (Payback)

O *payback* é o tempo necessário para que o investimento seja recuperado e comece a gerar lucro para o investidor. O período de retorno do investimento foi encontrado através da seguinte relação (OLIVEIRA, 2005):

$$p = \frac{G}{L} \quad (26)$$

p = período de retorno do investimento;

G = total do investimento;

L = lucro anual médio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item serão apresentados os resultados encontrados e as análises pertinentes aos mesmos, para este estudo, conforme os procedimentos expostos na metodologia.

4.1 DEMANDA DE ÁGUA NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIO EM BALSAS, MARANHÃO

A demanda total de água diária da indústria foi estimada considerando a quantidade de leite recebida diária (em média 3.000 L) e o coeficiente de uso da água por litro de leite de 2,4 $L_{\text{água}}/L_{\text{leite}}$. Deste modo encontrou-se uma demanda diária de 7.200 L de água potável. O consumo de água levantado na indústria está disposto na Tabela 8. Ao considerar o consumo semanal de água no período chuvoso, que é o período de maior consumo, obteve-se um consumo médio diário total 4.300 L de água para a limpeza dos ambientes da indústria, limpeza dos equipamentos, limpeza do caminhão-tanque e dos tambores e o uso de água na caldeira, uma vez que a cooperativa funciona durante os sete dias da semana. Logo, a água incorporado nos produtos e a utilizada no sistema de refrigeração, que não foi levantada in loco, pode ser estimada em 2.900 L diários.

Tabela 8 - Consumo de água levantado in loco na indústria

DESCRIÇÃO DO USO DA ÁGUA	CONSUMO DE ÁGUA (m ³)		
	Semanal	Mensal	Anual
Limpeza dos ambientes da indústria	11,69*	53,42*	690
	13,4**	60,06**	
Limpeza dos equipamentos da indústria	8,45	35,79	430,44
Limpeza do caminhão-tanque e dos tambores (transp. leite)	2,62	11,21	134,51
Consumo de água na caldeira	5,6	22,42	269
TOTAL	28,36*	122,84*	1523,95
	30,07**	129,48**	

Fonte: Próprio autor.

Nota: *período de estiagem e **período chuvoso.

Como o SAAP a ser proposto será para uso da água de chuva para fins não potáveis, a demanda de água potável a ser substituída por água de chuva será apenas a referente à limpeza dos ambientes da indústria. Os ambientes da indústria são plataforma de recepção do leite, almoxarifado, laboratório microbiológico, sala da pasteurização e produção de bebida láctea, sala da produção de queijo, sala de embalagem do queijo, câmara fria (salga e

maturação), câmara fria de produtos acabados, sala de embalagem do dia, laboratório físico-químico, gabinete de higienização e a área de circulação, conforme constam no apêndice B. Nesse apêndice consta também a frequência de limpeza de cada ambiente e de cada local do ambiente (piso, parede e teto), além do tempo médio de utilização das mangueiras ligadas para a limpeza dos mesmos.

São lavados piso, parede e teto dos ambientes em que há produção e manipulação direta com os alimentos. Nos demais ambientes, lava-se apenas o piso, que são eles: plataforma de recepção do leite¹, almoxarifado, laboratório microbiológico, circulação, gabinete de higienização, laboratório físico-químico e sala de embalagem do dia². Outro quesito que cabe ressaltar é em relação ao período do ano, pois há uma diferença na frequência da limpeza de alguns ambientes no período chuvoso e no período de seca ou estiagem. No período chuvoso os ambientes de produção apresentam maior propensão para o surgimento de mofo, por serem ambientes úmidos, devido ao elevado uso da água tanto na produção, quanto na limpeza dos equipamentos de produção. Logo, neste período a limpeza de tais ambientes é realizada com maior frequência o que implica em uma maior demanda de água. A demanda média de água diária, semanal, mensal e anual é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 - Demanda de água para limpeza dos ambientes da indústria de laticínios

DEMANDA DE ÁGUA PARA LIMPEZA DOS AMBIENTES DA INDÚSTRIA (m³)						
PERÍODO CHUVOSO			PERÍODO DE SECA			ANUAL
Diário	Semanal	Mensal	Diário	Semanal	Mensal	
1,91	13,4	60,06	1,67	11,69	53,42	690

Fonte: Próprio autor.

4.2 CÁLCULO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO

A área de contribuição disponível para a coleta de água da chuva está representada na Tabela 10. Esta área é de um telhado de duas águas, com cobertura de telhas metálicas, sendo tal telhado o da indústria de laticínios já existente.

Nota: ¹Apesar de ser o ambiente de recepção leite, não há necessidade de limpeza de parede e teto por ser um aberto, e devido o pé direito edificação ser alto proporciona uma boa circulação de ar no ambiente. ²Apesar da sala de embalagem do dia ser um ambiente para manipulação de alimentos, esta sala não é utilizada para este fim na indústria, por isso não há necessidade de limpeza das paredes e do teto.

Tabela 10 - Área de contribuição para a coleta de água da chuva

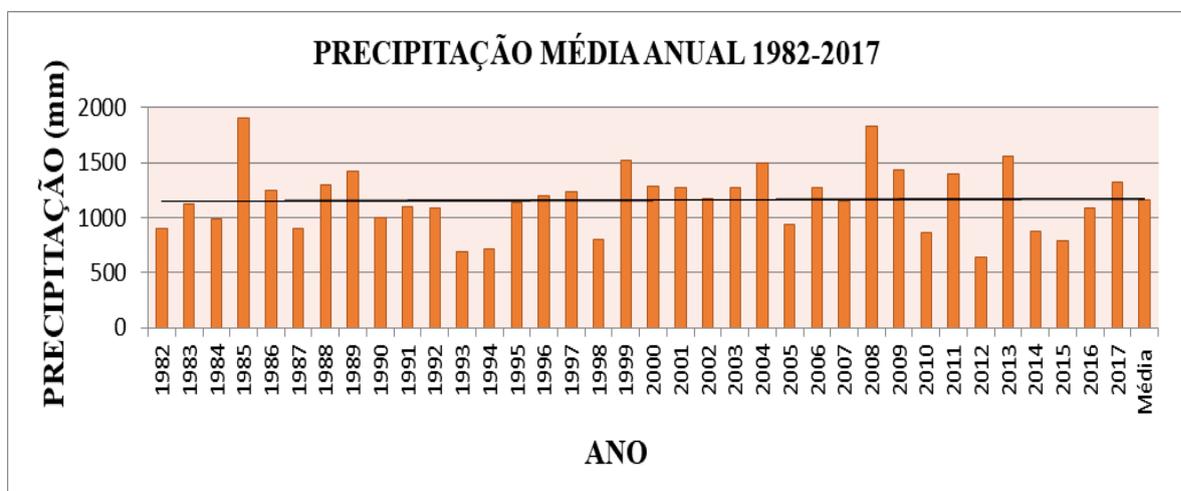
Largura da água do telhado	Comprimento da água do telhado	Altura do pé direito do telhado	Área de contribuição	Área de contribuição total
$A_1(\text{m})$	$B_1(\text{m})$	$H_1(\text{m})$	$A_1(\text{m}^2)$	$A_{\text{total}}(\text{m}^2)$
8,33	37	1,48	335,59	671,18

Fonte: Próprio autor.

4.3 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

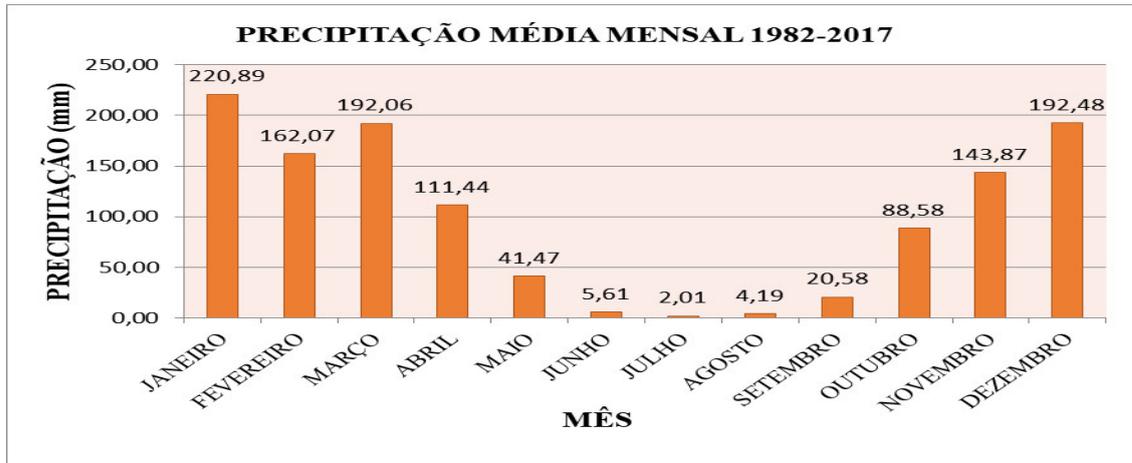
Os dados de precipitação foram obtidos no portal HidroWeb, no site da ANA. Os dados foram tratados, e a seguir estão os gráficos das precipitações médias anuais e mensais da série histórica de 1982 a 2017 e da série 2007 a 2017, essa última utilizada nos cálculos para determinação do reservatório pelo o método de Rippl. A Figura 33 mostra às precipitações médias anuais ($\bar{\sigma} = 1162,92 \text{ mm}$) e a Figura 34 as precipitações médias mensais de 1982 a 2017. Já as Figuras 35 e 36 apresentam as precipitações médias anuais ($\bar{\sigma} = 1174,22 \text{ mm}$) e precipitações médias mensais de 2007 a 2017, respectivamente. Em relação às precipitações médias mensais o que se pode observar é que os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro são aos que apresentam menores volumes de precipitação, deste modo, para a realização do dimensionamento do volume do reservatório este período foi caracterizado como período de seca ou estiagem, e os demais meses do ano como período chuvoso.

Figura 33 - Precipitação média anual (1982 a 2017)



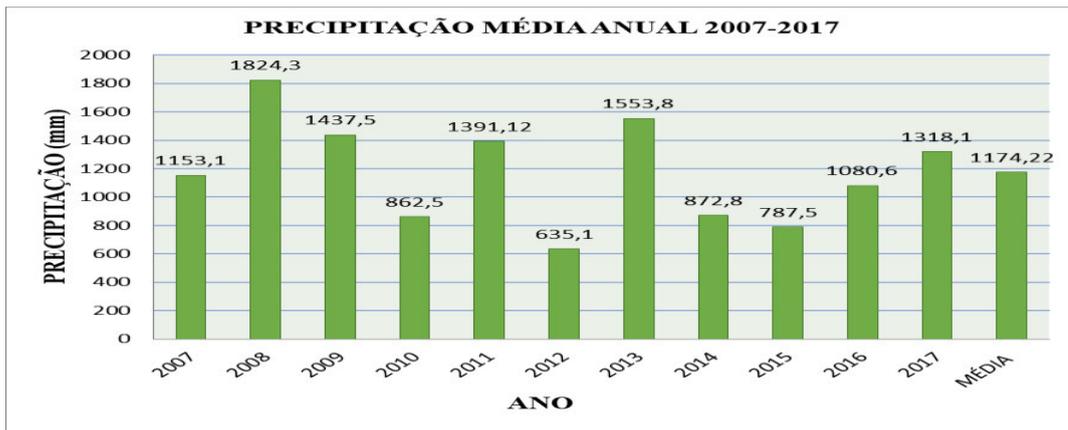
Fonte: Adaptado de ANA, 2018.

Figura 34 - Precipitação média mensal (1982 a 2017)



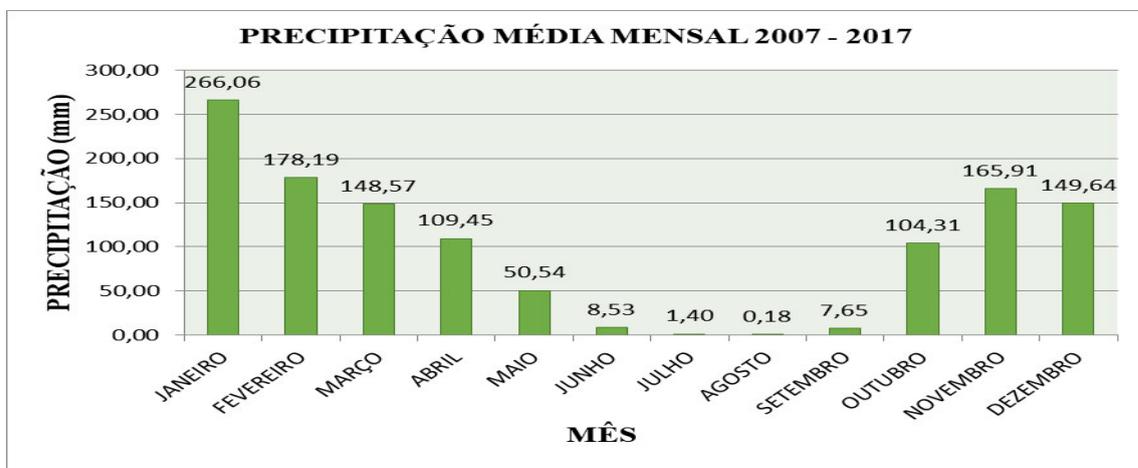
Fonte: Adaptado de ANA, 2018.

Figura 35 - Precipitação média anual (2007 a 2017)



Fonte: Adaptado de ANA, 2018.

Figura 36 - Precipitação média mensal (2007 a 2017)



Fonte: Adaptado de ANA, 2018.

4.4 VOLUME DE CHUVA COLETADO

O volume de chuva possível de coleta mensal e anual está disponível na Tabela 11 e 12. Cabe ressaltar que o volume de coletado anualmente de 531 m³, pela área de telhado disponível é menor que a demanda anual de água pluvial que é de 690 m³ para limpeza dos ambientes.

Tabela 11 - Volume de Chuva coletado mensal

Precipitação	Área de contribuição		Coefficiente de escoamento	Eficiência do sistema	Volume mensal
	Mês	P	A	C	η
Janeiro	220,89	671,18	0,8	0,85	100,81
Fevereiro	162,07	671,18	0,8	0,85	73,97
Março	192,06	671,18	0,8	0,85	87,66
Abril	111,44	671,18	0,8	0,85	50,86
Maio	41,47	671,18	0,8	0,85	18,93
Junho	5,61	671,18	0,8	0,85	2,56
Julho	2,01	671,18	0,8	0,85	0,92
Agosto	4,19	671,18	0,8	0,85	1,91
Setembro	20,58	671,18	0,8	0,85	9,39
Outubro	88,58	671,18	0,8	0,85	40,43
Novembro	143,87	671,18	0,8	0,85	65,66
Dezembro	192,48	671,18	0,8	0,85	87,85

Fonte: Próprio autor.

Tabela 12 - Volume de Chuva coletado anual

Precipitação média anual	Área de contribuição	Coefficiente de escoamento	Eficiência do sistema	Volume
P	A	C	η	m ³
1162,92	671,18	0,8	0,85	531

Fonte: Próprio autor.

4.5 VOLUME DO RESERVATÓRIO

A demanda de água na indústria de laticínio é composta pela água usada na produção dos alimentos, pela água usada na limpeza dos equipamentos de produção, pela água usada na limpeza do armazenamento do leite para transporte (que são os tambores e o caminhão-tanque), água usada na caldeira e água usada nos processos de refrigeração e água usada na limpeza dos ambientes. Desses usos da água, a fonte de água que tem por fim o uso não potável pode ser usada na limpeza dos ambientes, na caldeira e no sistema de

refrigeração, visto que estes usos não apresentam contato direto com os alimentos, ao contrário dos outros usos. Porém, ao calcular a demanda média desses usos da água, verificou-se que só o uso da água para limpeza dos ambientes anualmente era maior que quantidade de água possível de coleta anualmente. Deste modo, optou-se por dimensionar o reservatório apenas para demanda uso da água para limpezas de ambientes, que é um valor bastante significativo.

O volume do reservatório para armazenamento da água pluvial coletada foi dimensionado pelos seis métodos apresentados na NBR 15527:2007: método de Rippl, método de Azevedo Neto, método prático inglês, método prático alemão, método australiano e método da simulação. Por conseguinte, foram verificadas a eficiência dos volumes de reservatórios encontrados por cada método no programa Netuno e, por fim, foi realizada uma simulação no programa para distintos volumes de reservatório com a finalidade do programa indicar o volume mais eficiente.

4.5.1 Método de Rippl

A Tabela 13 apresenta os valores obtidos através do dimensionamento pelo método de Rippl. O volume encontrado para o reservatório foi de 235,77 m³. Constatou-se que, nos três primeiros meses, houve extravasamento no reservatório, a explicação para essa ocorrência é que, nesse período, geralmente ocorre os maiores eventos de precipitação de chuva. A partir do mês de abril, o volume de chuva começa a diminuir e, conseqüentemente, o volume de água no reservatório. Observa-se, pelos resultados expostos na Tabela 13, que essa situação permanece até outubro - mês que inicia o período chuvoso, nos meses seguintes começa a subir o nível de água no reservatório. Dessa forma, como o método de Rippl baseia-se pela máxima diferença acumulada entre o volume e a demanda de água pluvial, para atender a demanda de água prevista, seria necessário um reservatório de 235,77 m³. O método de Rippl é usado para prever o reservatório que atenderia 100% a demanda anual de acordo com a precipitação. No entanto, o reservatório fica superdimensionado e inviável economicamente.

Tabela 13 - Dimensionamento do reservatório pelo Método de Rippl

Mês	Chuva mensal	Demanda mensal	Área captação	Volume chuva mensal (q)	Diferença volume-demanda(s)	Diferença acumulada dos valores positivos	Situação do reservatório
	mm	m ³	m ²	m ³	m ³	m ³	
Janeiro	266,06	60,06	671,18	142,86	-82,80	0,00	E
Fevereiro	178,19	60,06	671,18	95,68	-35,62	0,00	E
Março	148,57	60,06	671,18	79,77	-19,71	0,00	E
Abril	109,45	60,06	671,18	58,77	1,29	1,29	D
Maió	50,54	53,42	671,18	27,14	26,28	27,57	D
Junho	8,53	53,42	671,18	4,58	48,84	76,41	D
Julho	1,40	53,42	671,18	0,75	52,67	129,08	D
Agosto	0,18	53,42	671,18	0,10	53,32	182,41	D
Setembro	7,65	53,42	671,18	4,11	49,31	231,72	D
Outubro	104,31	60,06	671,18	56,01	4,05	235,77	D
Novembro	165,91	60,06	671,18	89,08	-29,02	206,75	S
Dezembro	149,64	60,06	671,18	80,35	-20,29	186,46	S
Total	1190,43	687,52		639,19	48,33	235,77	

"E"(Extravasando) "D" (Descendo) "S" (Subindo)

Fonte: Próprio autor.

4.5.2 Método de Azevedo Neto

O método Azevedo Neto consiste no dimensionamento do volume do reservatório por meio de avaliação do volume de chuva aproveitável, tendo em vista a precipitação média anual e os meses com estiagem ou seca. A precipitação média anual usada foi da série histórica de 1982 a 2017 e a quantidade de meses com estiagem ou seca é de 5 meses (maio, junho, julho, agosto e setembro). Como na norma não estabelece nenhum procedimento para a forma de escolha da indicação do número de meses com pouca chuva ou seca, então se determinou o parâmetro com observação do histograma de precipitação mensal. Os resultados são mostrados na Tabela 14. O volume encontrado para o reservatório foi de 163,92 m³.

Tabela 14 - Dimensionamento do reservatório pelo Método de Azevedo Neto

Precipitação média anual	Área captação	Nº meses estiagem	Volume	Volume
mm	m ²		L	m ³
1162,96	671,18	5	163916,65	163,92

Fonte: Próprio autor.

Analisando o volume do reservatório, percebeu-se que no dimensionamento obtém resultados extrapolados em relação a alguns métodos, já que esse método é independente da demanda de água pluvial, porque quanto maior a precipitação pluviométrica da cidade e/ou área de captação, maior será o volume do reservatório (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011). Deste modo, o volume do reservatório obtido (163,92 m³) está diretamente relacionado à quantidade de água que se consegue captar através da área de telhado disponível.

4.5.3 Método Prático Inglês

O volume do reservatório de 30,27 m³ (Tabela 15), encontrado através da aplicação do método prático inglês, foi resultado da multiplicação da precipitação média anual pela área de captação, considerando apenas 5% como aproveitável e capaz de captar. O método consiste basicamente no volume que é possível captar, analisando a precipitação local e área para captação, desconsiderando, entretanto, a demanda.

Tabela 15 - Dimensionamento do reservatório pelo Método Prático Inglês

Precipitação média anual (mm)	Área captação (m ²)	Volume (L)	Volume (m ³)
1162,96	671,18	39027,77	39,03

Fonte: Próprio autor.

Este método foi um dos que apresentou volume de reservatório mais viável para implantação, pois apesar de depender da precipitação e da área de captação e poder vir a apresentar volume de reservatório exagerado, neste caso foi o inverso, visto que o volume de chuva captado não supera a demanda.

4.5.4 Método Prático Alemão

Este método trata-se de um método empírico, onde o volume do reservatório (Vadotado) corresponde a 6% do menor valor entre o volume anual aproveitável de água da chuva (V) e a demanda anual de água (D), como $V < D$, logo o Vadotado é resultado de $6\% * V$, conforme mostra a Tabela 16.

Tabela 16 - Dimensionamento do reservatório pelo Método Prático Alemão

Volume anual aproveitável de água da chuva (L)	Demanda anual de água não potável (L)	V*0,06	D*0,06	Vadotado (L)	Vadotado (m³)
624444,3942	690000,00	37466,66	41400,00	37466,66	37,47

Fonte: Próprio autor.

Como o valor da demanda é superior ao volume de chuva anual de chuva aproveitável o volume do reservatório não foi superdimensionado, tornado o volume de 37,47 m³ o mais viável em comparação aos demais métodos.

4.5.5 Método Australiano

O método australiano é realizado através de tentativas sucessivas, até encontrar uma eficiência do sistema que seja satisfatória. Para este método os volumes fixos utilizados foram 30 m³, 40 m³, 50 m³ e 100 m³, conforme contam as Tabelas 17,18, 19 e 20, respectivamente. O reservatório que apresentou maior eficiência foi o de 100 m³, que apresentou uma eficiência máxima de 50 %. Observou-se, portanto, que não seria possível alcançar o dimensionamento de um reservatório com maior eficiência, uma vez que, a demanda por água na indústria de laticínios é alta e o volume de chuva captado é pequeno em relação à mesma. Para o volume fixo de 100 m³, observa-se na Tabela 18 que o volume de água captado consegue atender apenas os seis primeiros meses do ano, depois o reservatório esgota e não consegue atender a demanda. Logo, para obter uma eficiência satisfatória, seria necessário aumentar o volume de água captado e, para isso, dever-se-ia ter uma maior área para captação de água da chuva.

Tabela 17 - Dimensionamento do reservatório pelo Método Australiano, volume fixo de 30 m³

ADOTANDO VOLUME FIXO DE 30 m ³									
Precipitação		Área captação	D	C	I	Q(t)	(Vt-1)	(Vt)	(Vt)
Mês	P (mm)	m ²	m ³	C	mm	m ³	m ³	m ³	m ³
Janeiro	220,89	671,18	60,06	0,8	2,0	117,53	0	57,47	57,47
Fevereiro	162,07	671,18	60,06	0,8	2,0	85,95	30,00	55,89	55,89
Março	192,06	671,18	60,06	0,8	2,0	102,05	30,00	71,99	71,99
Abril	111,44	671,18	60,06	0,8	2,0	58,76	30,00	28,70	28,70
Mai	41,47	671,18	53,42	0,8	2,0	21,19	28,70	-3,52	0,00
Junho	5,61	671,18	53,42	0,8	2,0	1,94	-3,52	-55,01	0,00
Julho	2,01	671,18	53,42	0,8	2,0	0,01	-55,01	-108,42	0,00
Agosto	4,19	671,18	53,42	0,8	2,0	1,18	-108,42	-160,66	0,00
Setembro	20,58	671,18	53,42	0,8	2,0	9,98	-160,66	-204,11	0,00
Outubro	88,58	671,18	60,06	0,8	2,0	46,49	-204,11	-217,68	0,00
Novembro	143,87	671,18	60,06	0,8	2,0	76,18	-217,68	-201,56	0,00
Dezembro	192,48	671,18	60,06	0,8	2,0	102,28	-201,56	-159,35	0,00
EFICIÊNCIA DO SISTEMA						Nr	N	Pr	1-Pr (%)
						8	12	0,67	33,33

Fonte: Próprio autor.

Tabela 18 - Dimensionamento do reservatório pelo Método Australiano, volume fixo de 40 m³

ADOTANDO VOLUME FIXO DE 40 m ³									
Precipitação		Área captação	D	C	I	Q(t)	(Vt-1)	(Vt)	(Vt)
Mês	P (mm)	m ²	m ³	C	mm	m ³	m ³	m ³	m ³
Janeiro	220,89	671,18	60,06	0,8	2,0	117,53	0	57,47	57,47
Fevereiro	162,07	671,18	60,06	0,8	2,0	85,95	40,00	65,89	65,89
Março	192,06	671,18	60,06	0,8	2,0	102,05	40,00	81,99	81,99
Abril	111,44	671,18	60,06	0,8	2,0	58,76	40,00	38,70	38,70
Mai	41,47	671,18	53,42	0,8	2,0	21,19	38,70	6,48	6,48
Junho	5,61	671,18	53,42	0,8	2,0	1,94	6,48	-45,01	0,00
Julho	2,01	671,18	53,42	0,8	2,0	0,01	-45,01	-98,42	0,00
Agosto	4,19	671,18	53,42	0,8	2,0	1,18	-98,42	-150,66	0,00
Setembro	20,58	671,18	53,42	0,8	2,0	9,98	-150,66	-194,11	0,00
Outubro	88,58	671,18	60,06	0,8	2,0	46,49	-194,11	-207,68	0,00
Novembro	143,87	671,18	60,06	0,8	2,0	76,18	-207,68	-191,56	0,00
Dezembro	192,48	671,18	60,06	0,8	2,0	102,28	-191,56	-149,35	0,00
EFICIÊNCIA DO SISTEMA						Nr	N	Pr	1-Pr (%)
						7	12	0,58	41,67

Fonte: Próprio autor.

Tabela 19 - Dimensionamento do reservatório pelo Método Australiano, volume fixo de 50 m³

ADOTANDO VOLUME FIXO DE 50 m ³									
Precipitação		Área captação	D	C	I	Q(t)	(Vt-1)	(Vt)	(Vt)
Mês	P (mm)	m ²	m ³	C	mm	m ³	m ³	m ³	m ³
Janeiro	220,89	671,18	60,06	0,8	2,0	117,53	0	57,47	57,47
Fevereiro	162,07	671,18	60,06	0,8	2,0	85,95	50,00	75,89	75,89
Março	192,06	671,18	60,06	0,8	2,0	102,05	50,00	91,99	91,99
Abril	111,44	671,18	60,06	0,8	2,0	58,76	50,00	48,70	48,70
Maio	41,47	671,18	53,42	0,8	2,0	21,19	48,70	16,48	16,48
Junho	5,61	671,18	53,42	0,8	2,0	1,94	16,48	-35,01	0,00
Julho	2,01	671,18	53,42	0,8	2,0	0,01	-35,01	-88,42	0,00
Agosto	4,19	671,18	53,42	0,8	2,0	1,18	-88,42	-140,66	0,00
Setembro	20,58	671,18	53,42	0,8	2,0	9,98	-140,66	-184,11	0,00
Outubro	88,58	671,18	60,06	0,8	2,0	46,49	-184,11	-197,68	0,00
Novembro	143,87	671,18	60,06	0,8	2,0	76,18	-197,68	-181,56	0,00
Dezembro	192,48	671,18	60,06	0,8	2,0	102,28	-181,56	-139,35	0,00
EFICIÊNCIA DO SISTEMA						Nr	N	Pr	1-Pr (%)
						7	12	0,58	41,67

Fonte: Próprio autor.

Tabela 20 - Dimensionamento do reservatório pelo Método Australiano, volume fixo de 100 m³

ADOTANDO VOLUME FIXO DE 100 m ³									
Precipitação		Área captação	D	C	I	Q(t)	(Vt-1)	(Vt)	(Vt)
Mês	P (mm)	m ²	m ³	C	mm	m ³	m ³	m ³	m ³
Janeiro	220,89	671,18	60,06	0,8	2,0	117,53	0	57,47	57,47
Fevereiro	162,07	671,18	60,06	0,8	2,0	85,95	57,47	83,36	83,36
Março	192,06	671,18	60,06	0,8	2,0	102,05	100,00	141,99	141,99
Abril	111,44	671,18	60,06	0,8	2,0	58,76	100,00	98,70	98,70
Maio	41,47	671,18	53,42	0,8	2,0	21,19	98,70	66,48	66,48
Junho	5,61	671,18	53,42	0,8	2,0	1,94	66,48	14,99	14,99
Julho	2,01	671,18	53,42	0,8	2,0	0,01	14,99	-38,42	0,00
Agosto	4,19	671,18	53,42	0,8	2,0	1,18	-38,42	-90,66	0,00
Setembro	20,58	671,18	53,42	0,8	2,0	9,98	-90,66	-134,11	0,00
Outubro	88,58	671,18	60,06	0,8	2,0	46,49	-134,11	-147,68	0,00
Novembro	143,87	671,18	60,06	0,8	2,0	76,18	-147,68	-131,56	0,00
Dezembro	192,48	671,18	60,06	0,8	2,0	102,28	-131,56	-89,35	0,00
EFICIÊNCIA DO SISTEMA						Nr	N	Pr	1-Pr (%)
						6	12	0,50	50,00

Fonte: Próprio autor.

4.5.6 Método da Simulação

No método de simulação considerou-se o reservatório inicialmente vazio e não foi considerada a evaporação da água e nem a perda por vazamento no reservatório. Esse é o melhor método para se dimensionar um reservatório e a sua fundamentação se dar por tentativas e erros.

Estabeleceram-se cinco variados volumes de reservatório, sendo eles de 235,77 m³; 163,92 m³; 39,03 m³, 37,47 e 40 m³, esses valores foram escolhidos devido aos volumes resultante dos demais métodos para avaliar a eficiência dos reservatórios. Ao analisarmos as tabelas apresentadas abaixo, o volume de 235,77 m³ é o maior volume do reservatório pré-dimensionado e aquele que proporciona a maior eficiência (92%), esse maior volume seria para compensar o período de estiagem.

Tabela 21 - Dimensionamento do reservatório pelo Método da simulação, volume fixo de 235,77 m³

Volume do reservatório pré-dimensionado (V): 235,77 m³										
Precipitação		Área Captação	D	C	Q(t)	V	(St-1)	(St)	Over flow	Sup. de água ext.
Mês	P	A	m ³	C	m ³	m ³	m ³	m ³		
Janeiro	220,89	671,18	60,06	0,8	118,61	235,8	0	235,77	0,00	0,00
Fevereiro	162,07	671,18	60,06	0,8	87,02	235,8	235,77	235,77	26,96	0,00
Março	192,06	671,18	60,06	0,8	103,13	235,8	235,77	235,77	43,07	0,00
Abril	111,44	671,18	60,06	0,8	59,84	235,8	235,77	235,55	0,00	0,00
Mai	41,47	671,18	53,42	0,8	22,27	235,8	235,55	204,39	0,00	0,00
Junho	5,61	671,18	53,42	0,8	3,01	235,8	204,39	153,99	0,00	0,00
Julho	2,01	671,18	53,42	0,8	1,08	235,8	153,99	101,65	0,00	0,00
Agosto	4,19	671,18	53,42	0,8	2,25	235,8	101,65	50,48	0,00	0,00
Setembro	20,58	671,18	53,42	0,8	11,05	235,8	50,48	8,11	0,00	0,00
Outubro	88,58	671,18	60,06	0,8	47,56	235,8	8,11	-4,39	0,00	4,39
Novembro	143,87	671,18	60,06	0,8	77,25	235,8	0,00	17,19	0,00	0,00
Dezembro	192,48	671,18	60,06	0,8	103,35	235,8	17,19	60,48	0,00	0,00
EFICIÊNCIA DO SISTEMA							Nr	N	Pr	
							11	12	92%	

Fonte: Próprio autor.

Tabela 22 - Dimensionamento do reservatório pelo Método da simulação, volume fixo de 163,92 m³

Volume do reservatório pré-dimensionado										
(V): 163,92 m³										
Precipitação		Área Captação	D	C	Q(t)	V	(St-1)	(St)	Overf low	Sup. de água ext.
Mês	P	A	m ³	C	m ³	m ³	m ³	m ³		
Janeiro	220,89	671,18	60,06	0,8	118,61	163,9	0	163,92	0,00	0
Fevereiro	162,07	671,18	60,06	0,8	87,02	163,9	163,92	163,92	26,96	0,00
Março	192,06	671,18	60,06	0,8	103,13	163,9	163,92	163,92	43,07	0,00
Abril	111,44	671,18	60,06	0,8	59,84	163,9	163,92	163,70	0,00	0,00
Maio	41,47	671,18	53,42	0,8	22,27	163,9	163,70	132,54	0,00	0,00
Junho	5,61	671,18	53,42	0,8	3,01	163,9	132,54	82,14	0,00	0,00
Julho	2,01	671,18	53,42	0,8	1,08	163,9	82,14	29,80	0,00	0,00
Agosto	4,19	671,18	53,42	0,8	2,25	163,9	29,80	-21,37	0,00	21,37
Setembro	20,58	671,18	53,42	0,8	11,05	163,9	0,00	-42,37	0,00	42,37
Outubro	88,58	671,18	60,06	0,8	47,56	163,9	0,00	-12,50	0,00	12,50
Novembro	143,87	671,18	60,06	0,8	77,25	163,9	0,00	17,19	0,00	0,00
Dezembro	192,48	671,18	60,06	0,8	103,35	163,9	17,19	60,48	0,00	0,00
EFICIÊNCIA DO SISTEMA							Nr	N	Pr	
							9	12	75%	

Fonte: Próprio autor.

Tabela 23 - Dimensionamento do reservatório pelo Método da simulação, volume fixo de 39,03 m³

Volume do reservatório pré-dimensionado										
(V): 39,03 m³										
Precipitação		Área Captação	D	C	Q(t)	V	(St-1)	(St)	Overflo w	Sup. de água ext.
Mês	P	A	m ³	C	m ³	m ³	m ³	m ³		
Janeiro	220,89	671,18	60,06	0,8	118,61	39,03	0	39,03	19,52	0
Fevereiro	162,07	671,18	60,06	0,8	87,02	39,03	39,03	39,03	26,96	0,00
Março	192,06	671,18	60,06	0,8	103,13	39,03	39,03	39,03	43,07	0,00
Abril	111,44	671,18	60,06	0,8	59,84	39,03	39,03	38,81	0,00	0,00
Maio	41,47	671,18	53,42	0,8	22,27	39,03	38,81	7,65	0,00	0,00
Junho	5,61	671,18	53,42	0,8	3,01	39,03	7,65	-42,75	0,00	42,75
Julho	2,01	671,18	53,42	0,8	1,08	39,03	0,00	-52,34	0,00	52,34
Agosto	4,19	671,18	53,42	0,8	2,25	39,03	0,00	-51,17	0,00	51,17
Setembro	20,58	671,18	53,42	0,8	11,05	39,03	0,00	-42,37	0,00	42,37
Outubro	88,58	671,18	60,06	0,8	47,56	39,03	0,00	-12,50	0,00	12,50
Novembro	143,87	671,18	60,06	0,8	77,25	39,03	0,00	17,19	0,00	0,00
Dezembro	192,48	671,18	60,06	0,8	103,35	39,03	17,19	39,03	21,45	0,00
EFICIÊNCIA DO SISTEMA							Nr	N	Pr	
							7	12	58%	

Fonte: Próprio autor.

Tabela 24 - Dimensionamento do reservatório pelo Método da simulação, volume fixo de 37,47 m³

Volume do reservatório pré-dimensionado										
(V): 37,47 m³										
Precipitação		Área Captação	D	C	Q(t)	V	(St-1)	(St)	Overflow	Sup. de água ext.
Mês	P	A	m ³	C	m ³	m ³	m ³	m ³		
Janeiro	220,89	671,18	60,06	0,8	118,61	37,47	0	37,47	21,08	0
Fevereiro	162,07	671,18	60,06	0,8	87,02	37,47	37,47	37,47	26,96	0,00
Março	192,06	671,18	60,06	0,8	103,13	37,47	37,47	37,47	43,07	0,00
Abril	111,44	671,18	60,06	0,8	59,84	37,47	37,47	37,25	0,00	0,00
Maio	41,47	671,18	53,42	0,8	22,27	37,47	37,25	6,09	0,00	0,00
Junho	5,61	671,18	53,42	0,8	3,01	37,47	6,09	-44,31	0,00	44,31
Julho	2,01	671,18	53,42	0,8	1,08	37,47	0,00	-52,34	0,00	52,34
Agosto	4,19	671,18	53,42	0,8	2,25	37,47	0,00	-51,17	0,00	51,17
Setembro	20,58	671,18	53,42	0,8	11,05	37,47	0,00	-42,37	0,00	42,37
Outubro	88,58	671,18	60,06	0,8	47,56	37,47	0,00	-12,50	0,00	12,50
Novembro	143,87	671,18	60,06	0,8	77,25	37,47	0,00	17,19	0,00	0,00
Dezembro	192,48	671,18	60,06	0,8	103,35	37,47	17,19	37,47	23,01	0,00
EFICIÊNCIA DO SISTEMA							Nr	N	Pr	
							7	12	58%	

Fonte: Próprio autor.

Tabela 25 - Dimensionamento do reservatório pelo Método da simulação, volume fixo de 40 m³

Volume do reservatório pré-dimensionado										
(V): 40 m³										
Precipitação		Área Captação	D	C	Q(t)	V	(St-1)	(St)	Overflow	Suprim. de água ext.
Mês	P	A	m ³	C	m ³	m ³	m ³	m ³		
Janeiro	220,89	671,18	60,06	0,8	118,61	40	0	40,00	18,55	0
Fevereiro	162,07	671,18	60,06	0,8	87,02	40	40,00	40,00	26,96	0,00
Março	192,06	671,18	60,06	0,8	103,13	40	40,00	40,00	43,07	0,00
Abril	111,44	671,18	60,06	0,8	59,84	40	40,00	39,78	0,00	0,00
Maio	41,47	671,18	53,42	0,8	22,27	40	39,78	8,62	0,00	0,00
Junho	5,61	671,18	53,42	0,8	3,01	40	8,62	-41,78	0,00	41,78
Julho	2,01	671,18	53,42	0,8	1,08	40	0,00	-52,34	0,00	52,34
Agosto	4,19	671,18	53,42	0,8	2,25	40	0,00	-51,17	0,00	51,17
Setembro	20,58	671,18	53,42	0,8	11,05	40	0,00	-42,37	0,00	42,37
Outubro	88,58	671,18	60,06	0,8	47,56	40	0,00	-12,50	0,00	12,50
Novembro	143,87	671,18	60,06	0,8	77,25	40	0,00	17,19	0,00	0,00
Dezembro	192,48	671,18	60,06	0,8	103,35	40	17,19	40,00	20,48	0,00
EFICIÊNCIA DO SISTEMA							Nr	N	Pr	
							7	12	58%	

Fonte: Próprio autor.

4.6 COMPARATIVO DOS MÉTODOS

- ✓ No Método de Rippl observou-se que o volume do reservatório aumenta à medida que a diferença positiva entre a demanda e o volume de chuva vai aumentando. Logo, pelos resultados pode se constatar que o reservatório fica superdimensionado e inviável economicamente.
- ✓ O método de Azevedo Neto também apresenta um resultado superdimensionado, se comparado aos métodos prático alemão e prático inglês, isso pode ser explicado pelo fato do método considerar os meses de estiagem, logo seria necessário um maior volume de reservatório para suprir a demanda desse período.
- ✓ Os métodos prático inglês e prático alemão foram os que apresentaram menor volume de reservatório. Para o método prático inglês esse valor deve-se ao fator de o método não depender da demanda, e da área de captação ser pequena. Já o método prático alemão apesar de depender da demanda, esse valor está atrelado ao volume de chuva coletado, que é menor que a demanda.
- ✓ Nos métodos australiano e da simulação o volume do reservatório é determinado por tentativas, onde usa-se volumes pré-determinados e verifica-se a eficiência dos mesmos. Para o método australiano não foi possível encontrar uma eficiência satisfatória mesmo se o volume fosse superdimensionado, visto que a área de captação é pequena. Já para o método da simulação foi encontrado um volume de reservatório com uma eficiência aceitável, porém trata-se de um valor superdimensionado.
- ✓ Deste modo, o próximo passo deste trabalho é verificar a eficiência dos volumes de reservatórios encontrados para cada método pelo programa Netuno e confrontar com as eficiências obtidas no método da simulação.

4.7 VOLUME DO RESERVATÓRIO PELO PROGRAMA NETUNO

As figuras 37 apresentam a interface do programa Netuno com os dados de entrada de demanda e reservatório superior. As simulações foram realizadas com os dados do Quadro 6. E as Figuras 38, 39, 40, 41 e 42 apresentam a interface do programa Netuno com o resultado da simulação para os volumes encontrados pelos métodos de Rippl, Azevedo Neto, prático inglês, prático alemão e australiano. Os valores de potencial de

aproveitamento de água pluvial encontrado para cada volume de reservatório apresentaram-se bem próximo das eficiências apresentadas pelo método da simulação, principalmente para os volumes de reservatórios encontrados pelos métodos prático inglês, prático alemão e australiano (Tabela 26).

Figura 37 - (a) Dados de entrada do campo demanda total de água e (b) volume escolhido para o reservatório superior

(a)

(b)

Mês	Demanda total de água (litros/mês)
Jan	60060
Fev	60060
Mar	60060
Abr	60060
Mai	53420
Jun	53420
Jul	53420
Ago	53420
Set	53420
Out	60060
Nov	60060
Dez	60060

Reservatório superior

Volume igual à demanda diária média de água pluvial

Entrar com volume desejado

Não utilizar reservatório superior

Volume do reservatório superior (litros)

Volume no reservatório superior abaixo do qual há recalque (litros)

Percentual do volume do reservatório superior abaixo do qual há recalque

Fonte: Próprio autor.

Quadro 6 - Dados de entrada para as simulações de reservatório com volume conhecido

Variáveis	Dados de entrada
Dados de precipitação	<i>Série histórica de 1982 a 2017 (base diária)</i>
Data inicial	<i>01/01/1982</i>
Descarte de escoamento inicial em mm	<i>2</i>
Área de captação	<i>671,18 m²</i>
Demanda total de água	<i>Variável (mensal) - vê Figura 37-(a)</i>
Número de moradores	<i>1</i>
Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial	<i>100%</i>
Coeficiente de escoamento superficial	<i>0,8</i>
Reservatório superior	<i>Entrar com volume do reservatório – vê Figura 37-(b)</i>
Reservatório inferior	<i>Simulação para um reservatório de volume conhecido</i>

Fonte: Próprio autor.

Figura 38 - Simulação para o volume de reservatório encontrado pelo método de Rippl

Netuno 4
Simulação Ajuda Citação Validação Sobre

Carregar simulação previamente salva

Carregar dados de precipitação	DADOS PARA NETI
Número de registros	13645
Data inicial (dd/MM/yyyy)	01/01/1982
Descarte escoamento inicial (mm)	2

Área de captação (m²)
671,18

Demanda total de água (litros per capita/dia)
Variável Variável...

Número de moradores
1 Variável...

Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial
100%

Coefficiente de escoamento superficial
0,8 (80% de aproveitamento)

Observações

Reservatório superior

Reservatório inferior
 Simulação para reservatório com volume conhecido
 Simulação para reservatórios com diversos volumes

Simulação
 Volume do Reservatório inferior (litros): 235770
Potencial de utilização de água pluvial: 78,51%
 Percentual de dias no período de análise em que a demanda de água pluvial é atendida:
 - Completamente: 77,71%
 - Parcialmente: 1,71%
 - Não atende: 20,59%

Valores mensais

Simular

Salvar simulação atual Limpar campos

Análise Econômica

Fonte: Próprio autor.

Figura 39 - Simulação para o volume de reservatório encontrado pelo método de Azevedo Neto

Netuno 4
Simulação Ajuda Citação Validação Sobre

Carregar simulação previamente salva

Carregar dados de precipitação	DADOS PARA NETI
Número de registros	13645
Data inicial (dd/MM/yyyy)	01/01/1982
Descarte escoamento inicial (mm)	2

Área de captação (m²)
671,18

Demanda total de água (litros per capita/dia)
Variável Variável...

Número de moradores
1 Variável...

Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial
100%

Coefficiente de escoamento superficial
0,8 (80% de aproveitamento)

Observações

Reservatório superior

Reservatório inferior
 Simulação para reservatório com volume conhecido
 Simulação para reservatórios com diversos volumes

Simulação
 Volume do Reservatório inferior (litros): 163920
Potencial de utilização de água pluvial: 72,89%
 Percentual de dias no período de análise em que a demanda de água pluvial é atendida:
 - Completamente: 72,24%
 - Parcialmente: 1,75%
 - Não atende: 26,01%

Valores mensais

Simular

Salvar simulação atual Limpar campos

Análise Econômica

Fonte: Próprio autor.

Figura 40 - Simulação para o volume de reservatório encontrado pelo método prático inglês

Netuno 4
 Simulação Ajuda Citação Validação Sobre

Carregar simulação previamente salva

Carregar dados de precipitação	DADOS PARA NETI
Número de registros	13645
Data inicial (dd/MM/yyyy)	01/01/1982
Descarte escoamento inicial (mm)	2

Área de captação (m²)
 671,18

Demanda total de água (litros per capita/dia)
 Variável Variável...

Número de moradores
 1 Variável...

Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial
 100%

Coefficiente de escoamento superficial
 0,8 (80% de aproveitamento)

Observações

Reservatório superior

Reservatório inferior
 Simulação para reservatório com volume conhecido
 Simulação para reservatórios com diversos volumes

Simulação

Volume do Reservatório inferior (litros): 39030

Potencial de utilização de água pluvial: 56,82%

Percentual de dias no período de análise em que a demanda de água pluvial é atendida:

- Completamente: 55,71%
- Parcialmente: 2,56%
- Não atende: 41,73%

Valores mensais

Simular

Salvar simulação atual Limpar campos

Análise Econômica

Fonte: Próprio autor.

Figura 41 - Simulação para o volume de reservatório encontrado pelo método prático alemão

Netuno 4
 Simulação Ajuda Citação Validação Sobre

Carregar simulação previamente salva

Carregar dados de precipitação	DADOS PARA NETI
Número de registros	13645
Data inicial (dd/MM/yyyy)	01/01/1982
Descarte escoamento inicial (mm)	2

Área de captação (m²)
 671,18

Demanda total de água (litros per capita/dia)
 Variável Variável...

Número de moradores
 1 Variável...

Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial
 100%

Coefficiente de escoamento superficial
 0,8 (80% de aproveitamento)

Observações

Reservatório superior

Reservatório inferior
 Simulação para reservatório com volume conhecido
 Simulação para reservatórios com diversos volumes

Simulação

Volume do Reservatório inferior (litros): 37470

Potencial de utilização de água pluvial: 56,46%

Percentual de dias no período de análise em que a demanda de água pluvial é atendida:

- Completamente: 55,29%
- Parcialmente: 2,63%
- Não atende: 42,07%

Valores mensais

Simular

Salvar simulação atual Limpar campos

Análise Econômica

Fonte: Próprio autor.

Figura 42 - Simulação para o volume de reservatório encontrado pelo método australiano

Fonte: Próprio autor.

Tabela 26 - Comparativo do potencial de aproveitamento de água pluvial pelo programa Netuno e eficiência do sistema pelo método da simulação

Método	Volume do reservatório (L)	Potencial de aproveitamento de água pluvial - programa Netuno	Eficiência do sistema - método da simulação
Rippl	235.770	78,51%	92%
Azevedo neto	163.920	72,89%	75%
Prático inglês	39.030	56,82%	58%
Prático alemão	37.470	56,46%	58%
Australiano	40.000	57,04%	58%

Fonte: Próprio autor.

Foi realizada também a simulação para reservatório com diversos volumes, com a finalidade de verificar o volume ideal para o reservatório inferior. As simulações foram realizadas com os dados do Quadro 7, sendo o volume máximo de 100.000 L, com intervalo entre os volumes de 10.000 L. Tanto para o período chuvoso – demanda média de água diária de 1910 L, como para o período de estiagem – demanda média de água diária de 1670 L, o volume ideal para o reservatório inferior indicado pelo programa foi de

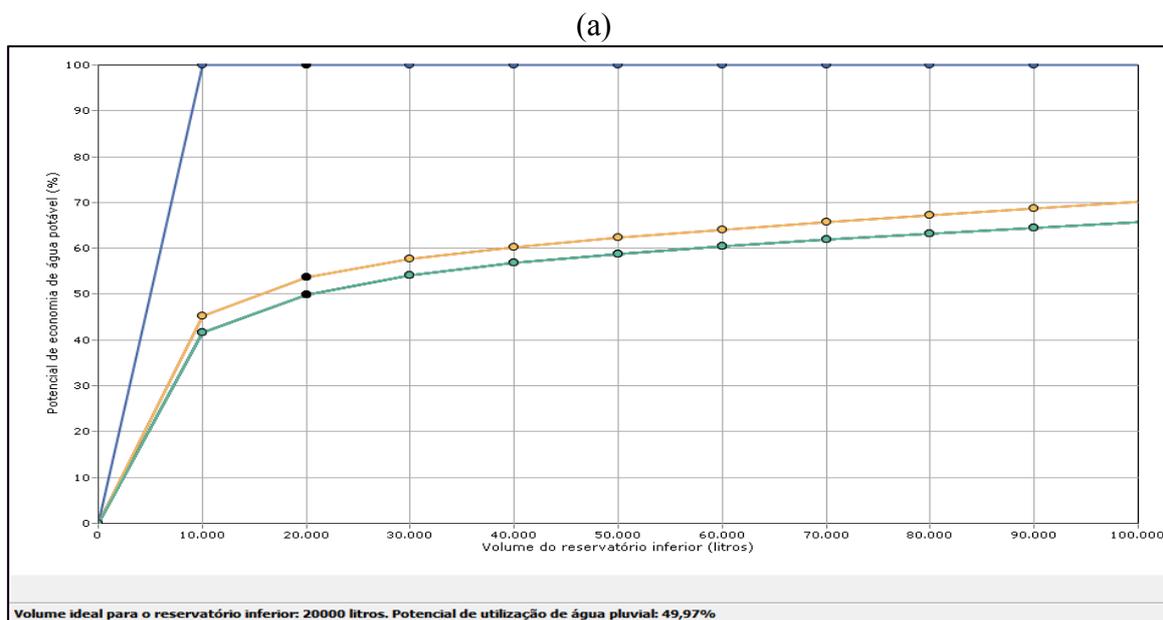
20.000 L, sendo o volume do reservatório superior fixado de 3.000 L. Os resultados de potencial de economia de água potável, consumo de água pluvial, percentual de atendimento de água pluvial e volume extravasado de água pluvial estão representados nas Figuras 43 (a) e (b), 44 (a) e (b), 45 (a) e (b) e 46 (a) e (b), respectivamente, e resumidos na Tabela 27 (a) e (b), tanto o período chuvoso, quanto para o período de estiagem.

Quadro 7 - Dados de entrada para as simulações de reservatório com diversos volumes

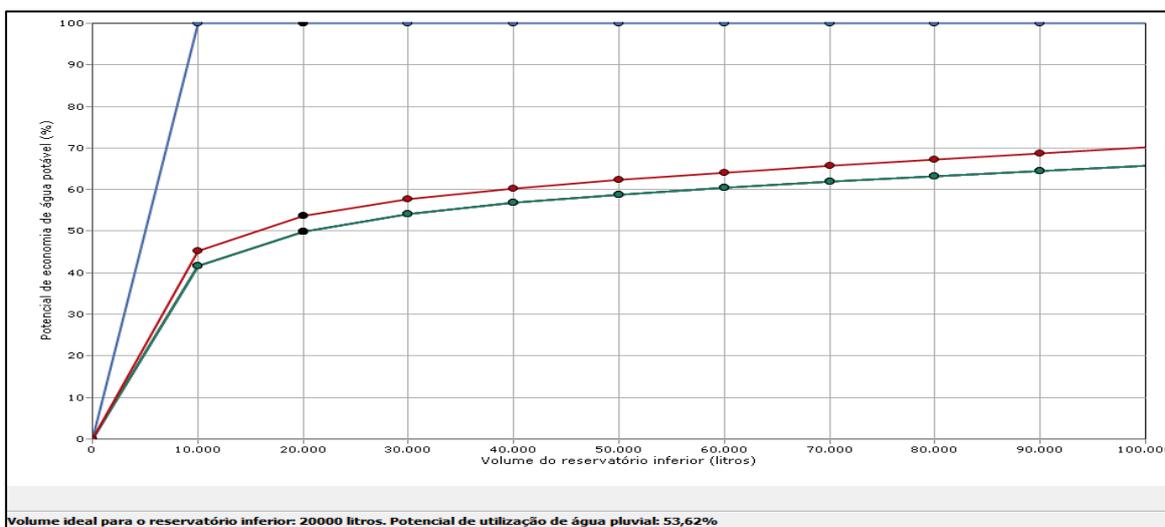
Variáveis	Dados de entrada
Dados de precipitação	Série histórica de 1982 a 2017 (base diária)
Data inicial	01/01/1982
Descarte de escoamento inicial em mm	2
Área de captação	671,18 m ²
Demanda total de água	Fixa (diária)
Número de moradores	1
Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial	100%
Coefficiente de escoamento superficial	0,8
Reservatório superior	Entrar com volume do reservatório de 3000 L
Reservatório inferior	Simulação para reservatório com diversos volumes

Fonte: Próprio autor.

Figura 43 - Potencial de economia de água potável por meio do uso de água pluvial em função dos diversos volumes de reservatório – (a) para demanda no período chuvoso e (b) para demanda no período de estiagem.



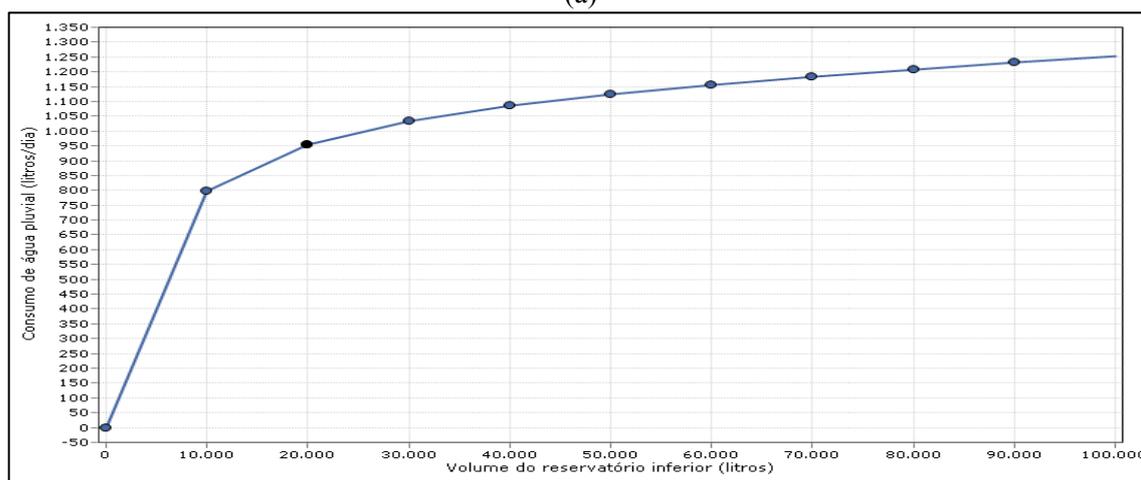
(b)



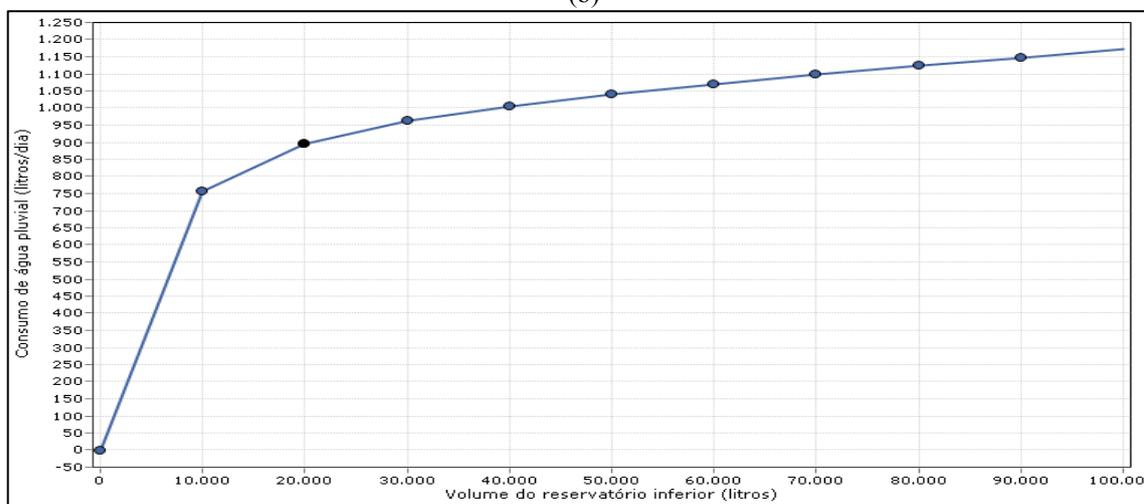
Fonte: Próprio autor.

Figura 44 - Consumo de água pluvial em função dos diversos volumes de reservatório – (a) para demanda no período chuvoso e (b) para demanda no período de estiagem

(a)

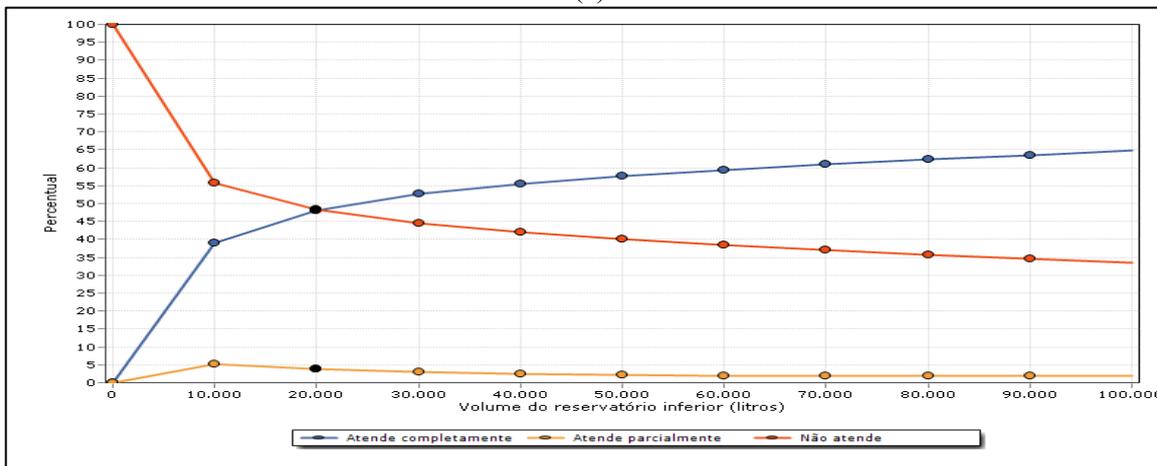


(b)

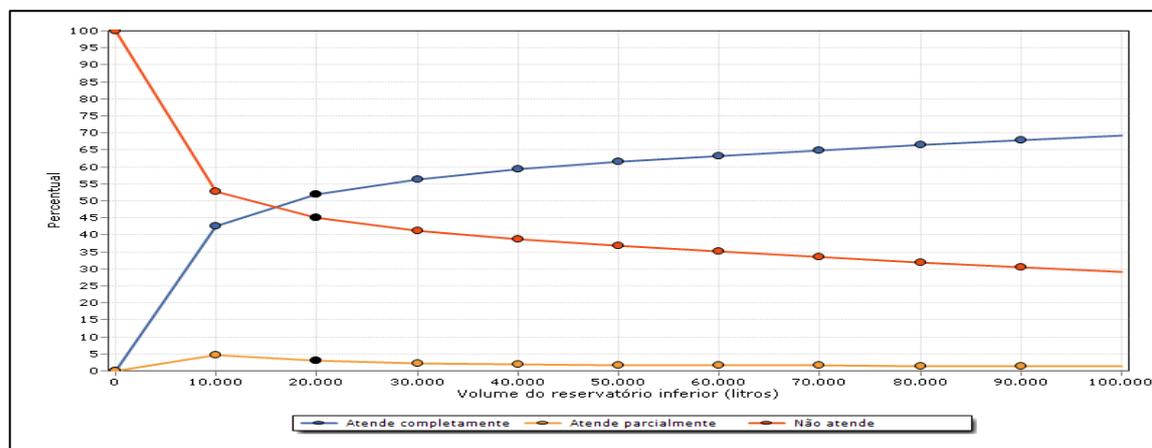


Fonte: Próprio autor.

Figura 45 - Percentual de atendimento de água pluvial em função dos diversos volumes de reservatório: (a) para demanda no período chuvoso e (b) para demanda no período de estiagem



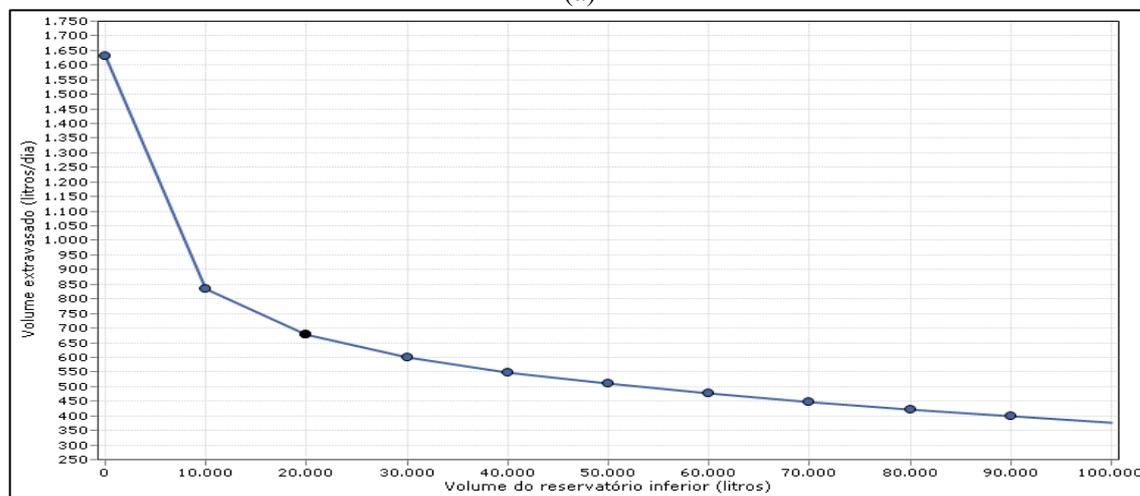
(b)

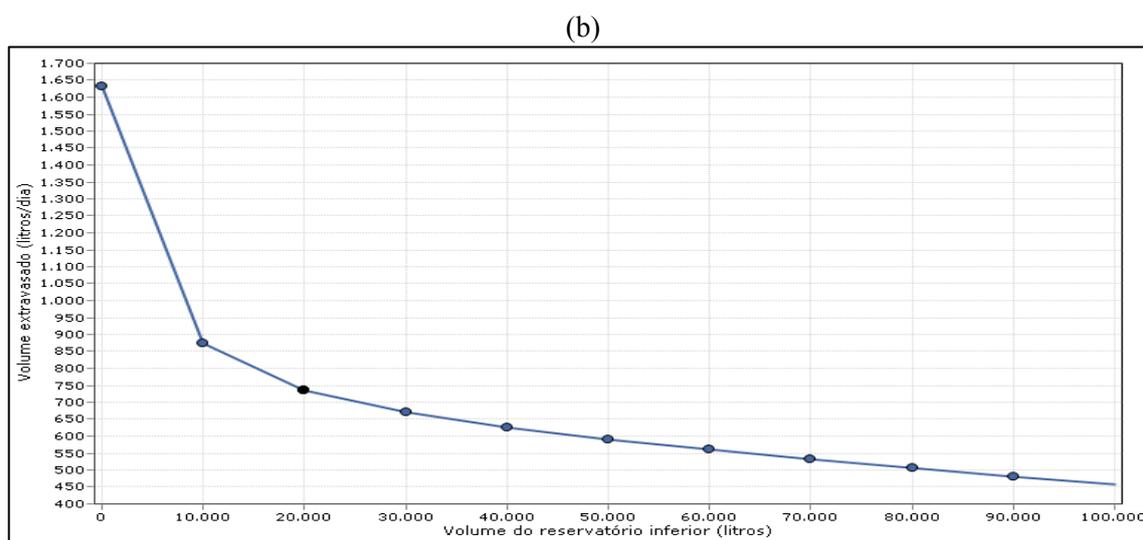


Fonte: Próprio autor.

Figura 46 - Volume extravasado de água pluvial em função dos diversos volumes de reservatório: (a) para demanda no período chuvoso e (b) para demanda no período de estiagem

(a)





Fonte: Próprio autor.

Tabela 27 - Resumo com todos os resultados da simulação: (a) para demanda no período chuvoso e (b) para demanda no período de estiagem

(a)

Volume (litros)	Potencial de economia de água potável (%)	Volume consumido de água pluvial (litros/dia)	Volume consumido de água potável (litros/dia)	Volume extravasado (litros/dia)	Demanda de água pluvial é atendida completamente (%)	Demanda de água pluvial é atendida parcialmente (%)	Demanda de água pluvial não é atendida (%)	Diferença entre potenciais de atendimento pluvial (%/m ²)
0	0	0	1910	1632,06	0	0	100	0
10000	41,75	797,51	1112,49	834,64	38,98	5,34	55,68	4,18
20000	49,97	954,39	955,61	677,99	47,99	3,77	48,24	0,82
30000	54,16	1034,48	875,52	598,10	52,61	2,96	44,43	0,42
40000	56,84	1085,55	824,45	547,06	55,52	2,52	41,96	0,27
50000	58,79	1122,98	787,02	509,03	57,67	2,18	40,15	0,20
60000	60,45	1154,54	755,46	476,93	59,39	2,05	38,56	0,17
70000	61,94	1183,08	726,92	447,82	60,95	1,95	37,10	0,15
80000	63,27	1208,41	701,59	421,89	62,33	1,86	35,81	0,13
90000	64,50	1231,86	678,14	397,80	63,56	1,82	34,61	0,12
100000	65,65	1253,84	656,16	375,19	64,73	1,80	33,47	0,12

(b)

Volume (litros)	Potencial de economia de água potável (%)	Volume consumido de água pluvial (litros/dia)	Volume consumido de água potável (litros/dia)	Volume extravasado (litros/dia)	Demanda de água pluvial é atendida completamente (%)	Demanda de água pluvial é atendida parcialmente (%)	Demanda de água pluvial não é atendida (%)	Diferença entre potenciais de atendimento pluvial (%/m ²)
0	0	0	1670	1632,059835	0	0	100	0
10000	45,33	757,06	912,94	875,14	42,47	4,66	52,87	4,53
20000	53,62	895,41	774,59	737,03	51,99	2,99	45,02	0,83
30000	57,67	963,01	706,99	669,58	56,44	2,32	41,24	0,40
40000	60,21	1005,57	664,43	626,60	59,24	1,93	38,83	0,25
50000	62,29	1040,17	629,83	591,43	61,41	1,76	36,83	0,21
60000	64,07	1069,96	600,04	561,10	63,24	1,63	35,13	0,18
70000	65,72	1097,56	572,44	532,96	64,94	1,55	33,51	0,17
80000	67,27	1123,46	546,54	506,48	66,51	1,51	31,98	0,16
90000	68,72	1147,61	522,39	481,72	67,97	1,47	30,56	0,14
100000	70,13	1171,10	498,90	457,61	69,37	1,44	29,19	0,14

Fonte: Próprio autor

4.8 ANÁLISE DOS VOLUMES DO RESERVATÓRIO

Diante dos resultados obtidos e analisados, pode-se observar que os métodos apresentados pela ABNT NBR 15527 apresentam resultados, às vezes, bem distintos um do outro, uma vez que, cada método utiliza quesitos e variáveis diferentes. A eficácia de cada método depende de variáveis, como precipitação, demanda e área de captação. Assim, não há um método específico que seja considerado o mais eficiente, é necessário sempre analisar se a demanda é alta em relação à precipitação da área ou se área disponível para captação é suficiente para reter a quantidade de água necessária para suprir a demanda, entre outros fatores.

Deste modo, pode-se afirmar que cada método possui sua particularidade e se sobressai dependendo da situação do ambiente, por isso, é recomendável que se utilize os seis métodos propostos, utilizando o método da simulação, conforme realizado no trabalho, para verificar a eficiência dos demais, buscando assim um volume de reservatório que atenda as condições de demanda e que também seja viável tecnicamente e economicamente.

Em relação aos volumes de reservatórios encontrados pelos métodos, os volumes de 235.770 L e 163.920 L encontrado pelos métodos de Rippl e Azevedo Netos, respectivamente, são valores superdimensionados e inviáveis de implantação.

Em relação aos resultados obtidos com o programa Netuno, a eficiência encontrada para os volumes obtidos pelos métodos apresentaram resultados próximos às eficiências encontradas pelo método da simulação, em especial para os volumes de 39.030 L, 37.420 L e 40.000 L, reafirmando que a eficiência para estes volumes fica em torno de 56 a 58%. Ao verificar o volume ideal para diferentes volumes de reservatório o volume apresentado para o Netuno foi de 20.000 L, com eficiência variando de 49 a 53% dependendo do período se é chuvoso ou de estiagem, respectivamente. Portanto, o volume a ser escolhido para o reservatório deve estar na faixa entre 20.000 L e 40.000 L.

Assim, para escolher o volume mais adequado foi calculada a eficiência do sistema para os volumes de 20.000 L, 30.000 L e 40.000 L pelo método da simulação, e os valores de eficiência encontrados foram 50%, 50% e 58%, respectivamente (Apêndice C). Esses valores de eficiência na prática significam que o reservatório irá atender a demanda durante seis meses do ano: novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril

(eficiência = 50%) e durante sete meses do ano: novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e maio (eficiência = 58%).

O reservatório de 40.000 L apesar de ser 2 vezes o volume do reservatório de 20.000 L apresentou uma eficiência apenas de 8% a mais. Logo, como o reservatório é o principal o item do SAAP e conseqüentemente o mais caro, se optássemos pelo reservatório de 40.000 L teríamos o custo duplicado e um aumento de eficiência pequeno, o que não compensaria.

Deste modo, ao analisar os resultados encontrados tanto pelos métodos quanto pelo programa Netuno optou-se por usar um reservatório inferior de 20.000 L, pois além de ser o volume ideal apresentado pelo programa Netuno, a eficiência encontrada tanto pelo programa como pelo método da simulação corroboraram para afirmar que este volume de reservatório apresenta uma eficiência em torno de 50%. Além disso, para este volume pode se propor o uso de reservatório de fibra, no modelo tanque, modelos estes disponíveis no mercado com tal capacidade. Para o reservatório superior foi escolhido um reservatório com volume de 3000 L, visto que a maior demanda diária será de 1910 L, logo, tem-se com uma reserva de 1080 L.

4.9 PROPOSTAS PARA DISPOSIÇÃO DAS CALHAS E DESCIDAS DE ÁGUA PARA OS CONDUTORES VERTICAIS

As três opções propostas para a disposição das calhas juntos ao beiral do telhado de cada água da edificação estão ilustradas no Apêndice D. Opção 01: cobertura dividida em duas áreas de contribuição sendo uma calha para cada área de contribuição e uma descida de água para o condutor vertical (01 condutor para cada calha) posicionado na extremidade direita de cada área de contribuição. Opção 02: cobertura dividida em quatro áreas de contribuição sendo uma calha para cada área de contribuição e uma descida de água para o condutor vertical (01 condutor para cada calha) posicionada nas extremidades da edificação. E opção 03: cobertura dividida em quatro áreas de contribuição sendo uma calha para cada área de contribuição e uma descida de água para o condutor vertical (01 condutor para cada calha) posicionado nas extremidades direitas de cada área de contribuição.

A opção 01 apresenta a vantagem de ser opção com menos extensão de condutor horizontal, apenas 01 condutor horizontal para fazer de um condutor vertical para o outro, e outro condutor horizontal para transportar toda a vazão de projeto até o reservatório inferior. Em contrapartida, as calhas ficariam com um comprimento de 37 metros de vão sem nenhuma descida de água tornando assim esta opção inviável de implantação. Além

disso, a mesma iria demandar um diâmetro interno grande, em relação às demais opções, e também um maior peso durante as precipitações.

A opção 02 apresenta algumas vantagens em comparação à opção 01, visto que ao dividir a área de contribuição em quatro áreas a vazão que será direcionada para cada calha será menor, o que resulta em calhas com diâmetros menores, e conseqüente com um menor peso a ser anexado a estrutura já existente. As calhas também apresentam menor extensão 18,5 metros. As chances de entupimentos e/ou transbordamentos também são menores. Porém, é a opção que apresentam maior comprimento de condutores horizontais para fazer o transporte de cada condutor até o reservatório inferior, e conseqüentemente maior perda de carga, tanto devido ao comprimento quanto ao maior uso de conexões.

E por fim, a opção 03 apresenta as mesmas vantagens que a opção 02 em comparação com a opção 01. Entretanto, possui menor comprimento de condutores horizontais que segunda opção. Deste modo, esta foi opção escolhida para o dimensionamento das calhas, condutores verticais e condutores horizontais.

4.10 INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA

A intensidade pluviométrica foi calculada considerando o tempo de duração da precipitação de 5 minutos, o período de retorno de 5 anos, e os parâmetros ajustados conforme a localidade. A intensidade média máxima de precipitação encontrada foi 159,69 mm/h para a estação 00746006, Balsas/MA (Tabela 28).

Tabela 28 - Intensidade pluviométrica

$I_m = K * Tr^a / (t+b)^c$									
K	Tr	a	Tr^a	k * Tr^a	t	b	c	(t+b)^c	I_m (mm/h)
928,11	5	0,155	1,28	1191,08	5	10	0,742	7,46	159,69

Fonte: Próprio autor.

4.11 VAZÃO DE PROJETO

Com o valor da intensidade pluviométrica e da área de contribuição foi encontrado a vazão de projeto total de 1786,36 L/min (Tabela 29).

Tabela 29 - Vazão de projeto

Q =Im*A/60 (L/min)				
Im	A	Q	Q/2	Q/4
159,69	671,18	1786,36	893,18	446,59

Fonte: Próprio autor.

4.12 CALHAS

Considerando o coeficiente de rugosidade $n=0,011$ para calhas de PVC, vazão de projeto $Q=446,59$ L/min, calhas semicirculares e lâmina de água igual à metade do diâmetro interno da calha, pela Tabela 06, extraída da ABNT NBR 10844, o diâmetro interno de cada calha será $D=150$ mm e a declividade $i=1\%$. A vazão de projeto é $446,59$ L/min devido à proposta escolhida para disposição das calhas (Desenho 1 – Apêndice E) considerar quatro áreas de contribuição.

4.13 CONDUTORES VERTICAIS

O diâmetro dos condutores verticais foi obtido através do ábaco para calha com funil de saída, com os seguintes dados: vazão de projeto $Q=446,59$ L/min, altura da lâmina de água na calha $H=75$ mm e comprimento do condutor vertical $L=7$ m. O diâmetro encontrado foi aproximadamente $D=55$ mm para cada condutor vertical, logo será usado diâmetro comercial $D=100$ mm. A NBR 10844:1989 recomenda no item 5.6.1 que os condutores verticais sejam projetados em uma só prumada, porém esta observação não se adequa ao SAAP em estudo devido tratar-se de uma edificação térreo. A proposta de disposição dos condutores verticais está representada no Apêndice E – desenho 3.

4.14 CONDUTORES HORIZONTAIS

Os condutores horizontais foram dimensionados para o layout do desenho 03 do Apêndice E. Para a determinação do diâmetro e inclinação de cada trecho foi considerado a vazão de projeto dos mesmos, coeficiente de rugosidade $n=0,011$ e lâmina de água igual a $2/3$ de D (Tabela 30). Os diâmetros foram encontrados na Tabela 08, extraída da NBR 10844:1989.

Tabela 30 - Diâmetro dos condutores horizontais

TRECHO	VAZÃO (L/mim)	COMPRIMENTO (m)	DIÂMETRO INTERNO (mm)	INCLINAÇÃO (i)
A-B	446,59	1,59	150	0,5%
B-C	446,59	17,6	150	0,5%
D-E	903,18	17,8	150	2,0%
F-G	446,59	1,65	150	0,5%
H-I	446,59	17,71	150	0,5%
I-J	446,59	1,92	150	0,5%
K-L	1786,36	15,12	200	1,0%

Fonte: Próprio autor.

4.15 POTÊNCIA DO CONJUNTO MOTOBOMBA

A determinação da potência do conjunto motobomba foi realizada de acordo com o esquema isométrico desenho 02 do Apêndice E. De início foram calculados os diâmetros das tubulações de recalque e sucção (Tabela 31), com base na vazão mínima de recalque de 15% do consumo diário de água. Cabe ressaltar que o consumo diário utilizado foi determinado a partir do consumo semanal de água no período chuvoso, período este em que o consumo de água para limpeza dos ambientes é maior na indústria.

Tabela 31- Diâmetro das tubulações de recalque e sucção

Consumo diário (CD)	Admitindo vazão mínima igual a 15%, o novo CD' será $0,15*CD$ (m ³ /h)	Vazão de recalque (Qr) (m ³ /s)	Nº de horas trabalhada por dia	D. de recal. (m)	D. de recal. (mm)	D. de recal. comercial	D. de sucção
1,91* m ³ /dia	0,2865	7,96E-05	0,2775	8,42E-03	8,42	1/2" ou 15 mm	3/4" ou 20 mm

As instalações de recalque devem ser dimensionadas para vazão de recalque mínima equivalente a 15% do consumo diário (CD), para tanto são necessário 6,66 horas de trabalho do conjunto motobomba.

Fonte: Próprio autor.

A perda de carga tanto no recalque, quanto na sucção foi calculado fazendo as seguintes considerações: material das tubulações e conexões utilizado na sucção e recalque é aço galvanizado, e utilizando a fórmula de Fair-Whipple-Hsiano para canos de pequeno diâmetro (1/2 a 2 polegadas) e encanamento de aço galvanizado e água fria para o cálculo da perda de carga unitária (AZEVEDO NETO et al., 1998). A perda de carga na sucção foi de 0,1079 m (Tabela 32) e no recalque foi de 0,2599 m (Tabela 33).

Tabela 32 - Perda de carga na sucção

	Comprimento equivalente (L) (m)	Perda de carga (Js) (m/m) Q= 27,113*J^{0,532}*D^{2,596}	hs = L*J(m)
Comprimento desenvolvido	6,01	0,00779	0,1079
01 Válvula pé com crivo	5,6		
02 registros de gaveta	0,2		
01 tê de passagem bilateral	0,69		
04 curva	1,36		
Total	13,86	0,00779	0,1079

Fonte: Próprio autor.

Tabela 33 - Perda de carga no recalque

	Comprimento equivalente (L) (m)	Perda de carga (Jr) (m/m) Q= 27,113*J^{0,532}*D^{2,596}	hr = L*J(m)
Comprimento desenvolvido	6,12	0,03169	0,2599
01 válvula de retenção leve	1,1		
02 registros de gaveta	0,2		
01 junção	0,09		
01 joelho 45°	0,22		
01 joelho 90°	0,47		
Total	8,20	0,03169	0,2599

Fonte: Próprio autor.

Uma vez determinado a perda de carga de sucção e recalque obteve-se a perda carga total do sistema elevatório que foi de 0,3678 m. Foi determinada também a altura geométrica, através da soma da altura geométrica de sucção (valor correspondente ao desnível entre o nível mínimo de água no reservatório inferior, que deve ser no mínimo 90 cm, e o eixo da bomba) com a altura geométrica de recalque (valor correspondente ao desnível entre o eixo da bomba e a entrada de água no reservatório superior) (BOTELHO; RIBEIRO JUNIOR, 2014). Por conseguinte obteve-se a altura manométrica igual a 6,94 m, resultado da soma da perda de carga total com a altura.

Tabela 34 - Altura manométrica

Perda de carga total (hftotal=hs+hr) (m)	Altura geométrica (Hgtotal=Hgs+Hgr) (m)	Altura Manométrica (Hm=hftotal+Hgtotal) (m)
0,3678	6,57	6,94

Fonte: Próprio autor.

Com a vazão de recalque apresentada na tabela 31 e altura manométrica apresentada na tabela 34 e considerando o rendimento do sistema elevatório de 33% determinou-se a potência do conjunto motobomba (Tabela 35). O rendimento global é o produto do rendimento do motor com o rendimento da bomba. Para este dimensionamento foi considerado o rendimento do motor de 64% e o rendimento da bomba de 52% (AZEVEDO NETO et al., 1998).

Tabela 35 - Potência do conjunto motobomba

Q(L/min)	Hm (m)	Rendimento global (η)	P (CV)	P comercial (CV)
7,96E-05	6,94	0,33	0,022	0,5

Fonte: Próprio autor.

➤ Estimativa da potência da bomba do poço da cooperativa

Devido à cooperativa não possui a informação sobre a potência da bomba do poço semi-artesiano a mesma será estimada com base nas seguintes informações: o tempo gasto para encher o reservatório de 10 m³ é em média 01 hora e a profundidade do poço é 300 m. Logo, a vazão de recalque da bomba pode ser estimada em Q=10 m³, em média. Considerando a perda de carga, pode-se estimar a potência da bomba em 25 CV, pela especificação da Tabela 36.

Tabela 36 - Especificações técnicas de motobombas submersas 6" sub-rotor fechado

Série	Modelo	Potência (cv)	Estágios	Ø Recalque (po l)	Ø Rotor (mm)	Características Hidráulicas										
						Vazão em m ³ /h										
						0	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
SUB 100	SUB100-50F6E5	5	5	2 1/2	90	74	66	66	65	64	64	63	62	60	59	57
	SUB100-75F6E7	7,5	7	2 1/2	90	104	93	92	91	90	89	88	87	85	83	81
	SUB100-100F6E10	10	10	2 1/2	90	149	133	132	131	129	128	126	124	121	119	115
	SUB100-150F6E15	15	15	2 1/2	90	223	200	198	196	194	192	189	186	182	178	173
	SUB100-200F6E20	20	20	2 1/2	90	297	267	265	262	259	256	252	248	243	238	231
	SUB100-250F6E25	25	25	2 1/2	90	372	334	331	328	324	320	316	310	304	297	289

Extraída de: Tabela... (2017).

4.16 SELEÇÃO DOS COMPONENTES PARA O SAAP PROPOSTO

A forma escolhida para o levantamento dos custos foi estimativa de valores a partir do valor do reservatório, devido este ser o componente mais caro do sistema. Deste modo, deve-se escolher o tipo de reservatório. Como o SAAP proposto possui reservatório inferior e superior, foi escolhido além dos reservatórios o conjunto motobomba, de acordo com a potência encontrada acima.

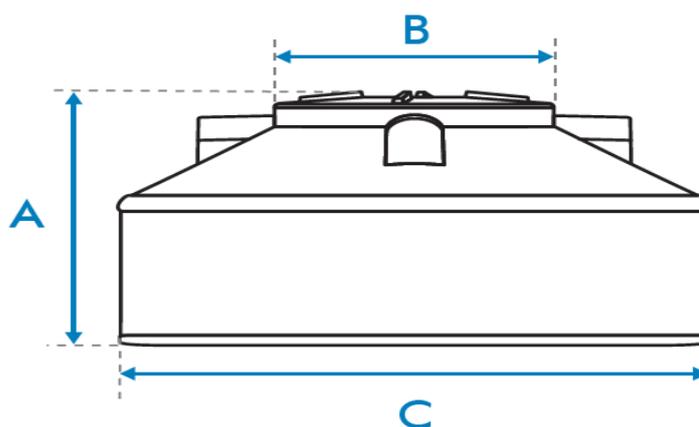
➤ Reservatório inferior

Para reservatório inferior foi escolhido um tanque de polietileno (Figura 47) com as seguintes características:

- Capacidade de 20.000 L;
- Proteção UV;
- Tampa de inspeção com diâmetro de 60 cm;
- Dimensões em metros: $A = 2,83$, $B = 0,60$ e $C = 3,17$.

O valor médio desse reservatório é R\$ 8549,00. A pesquisa de preço foi feita online.

Figura 47 - Desenho técnico do reservatório inferior



Fonte: Catálogo... (2019b).

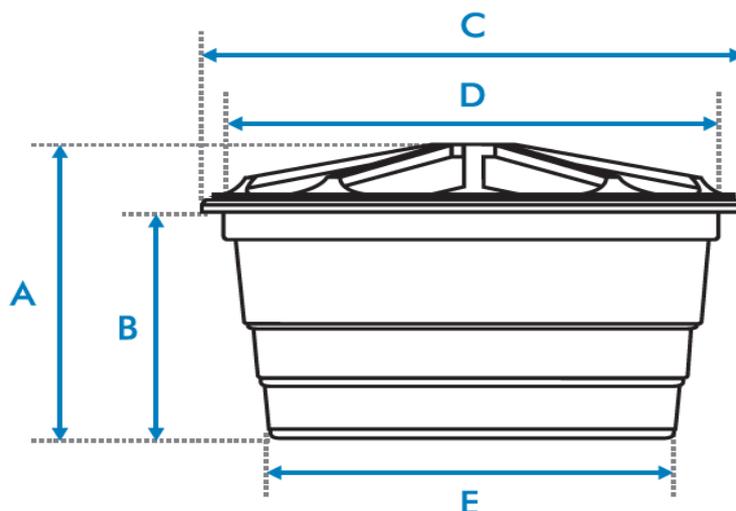
➤ Reservatório superior

Para reservatório superior foi escolhido uma caixa d'água de polietileno (Figura 48) com as seguintes características:

- Capacidade de 3.000 L;
- Proteção UV;
- Sistema de travamento da tampa que dispensa parafuso;
- Dimensões em metros: A = 1,49, B = 1,21, C = 2,28, D = 2,22 e E = 2,72.

O valor médio desse reservatório é R\$ 1.050,00. A pesquisa de preço foi feita online.

Figura 48 - Desenho técnico do reservatório superior



Fonte: Catálogo... (2019b).

➤ Conjunto Motobomba

Para o sistema elevatório foi escolhido uma motobomba centrífuga KSB Hydrobloc C500N 0,5 cv trifásica 220/380 V (Figura 49). O valor médio dessa motobomba é R\$ 530,79. A pesquisa de preço foi feita online. Como na proposta contém duas motobombas, o valor total será R\$ 1.061,58.

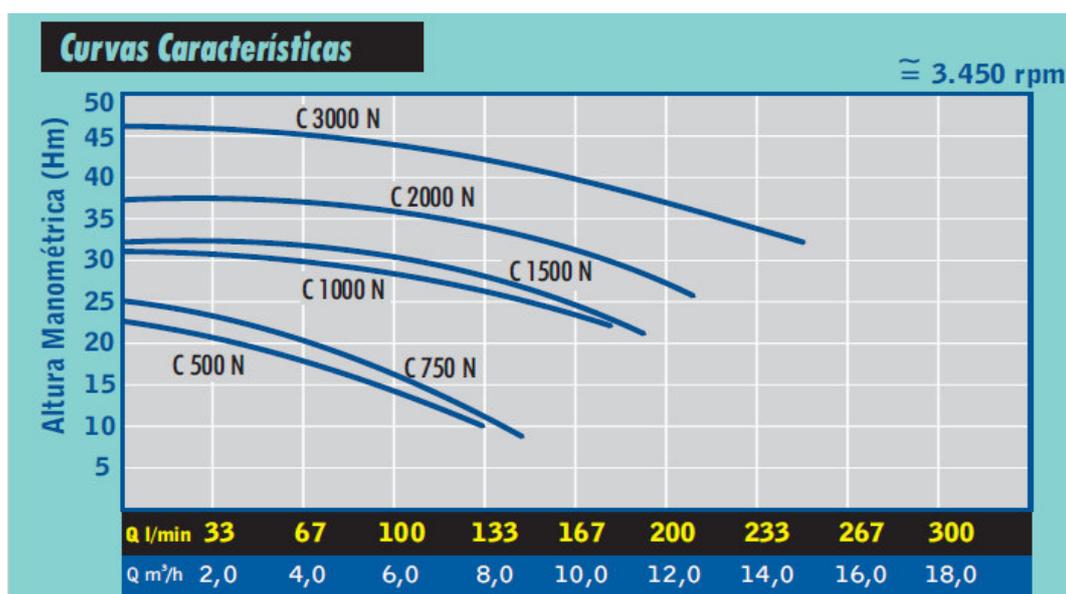
Figura 49 – Motobomba



Fonte: Mérito... (2019).

A figura 50 apresenta as curvas características de motobombas Hidrobloc CN, como é o caso da bomba escolhida acima. Neste estudo não será realizado o cálculo de verificação do NSHP da bomba devido o foco principal da escolha da bomba ser para levantar o valor da mesma para quantificar os custos do SAAP. Porém, ressalta-se que caso o sistema seja implantado essa verificação deverá ser realizada, uma vez que o NSHP disponível deve ser maior que o NSHP requerido para que não ocorra o fenômeno de cavitação.

Figura 50 - Curvas características de motobombas Hydrobloc CN



Fonte: Bombas... (2019).

4.17 CUSTOS TOTAIS

Os custos do SAAP proposto foram determinados por estimativa a partir do custo do reservatório. A tabela 37 apresenta os custos do SAAP. O custo do item reservatório, que inclui reservatório inferior, reservatório superior e duas motobombas foi orçado por pesquisa de preço em lojas virtuais. Deste modo, foi acrescentado 10% ao custo total do item reservatório para custeio de frete dos materiais ou caso seja comprado em loja física, para cobrir uma possível diferença de preço, conforme Lucas (2016). O item custos contingenciais foi estimado em 30% do custo do item reservatório. E por fim, os custos de operação e manutenção foram estimados em 6% do custo do item reservatório. O resultado foi obtido a partir do uso da equação 21, trazendo o custo ao longo do tempo de horizonte para o valor presente, onde foi considerado um tempo de horizonte de 20 anos, a taxa de aumento do custo de construção 8,14% a.a e a taxa mínima de atratividade ou taxa de

desconto de 5,55 % a.a. Deste modo, somando os custos reservatório, contingenciais e operação e manutenção o custo total do SAAP é de R\$ 33.572,83 (Trinta e três mil quinhentos e setenta e dois reais e oitenta e três centavos).

A taxa de aumento médio dos custos de construção (Tabela 38) foi determinada com base no aumento de preço de materiais e serviços do SINAPI, a partir da média dos anos de 2001 a 2015, disponíveis no site do SINAPI no seguinte endereço: <https://webp.caixa.gov.br/casa/sinapi/index.asp?menu=8> (SINAPI, 2018). A taxa de desconto que aqui será usado a taxa mínima de atratividade foi calculada a partir da média da taxa referencial dos anos de 2008 a 2017 (TAXA..., 2018) e da taxa SELIC referente ao mês de novembro de 2018 (SELIC = 6,5% a.a - nov./2018) (PORTAL..., 2018).

Tabela 37 - Custos do SAAP proposto

1. Reservatório	
Item	Preço
Reservatório inferior (tanque de polietileno de 20.000 L)	R\$ 8.549,00
Reservatório superior (caixa d água de polietileno de 3.000 L)	R\$ 1.050,00
2 - Bomba centrífuga 0,5 CV trifásica	R\$ 1.061,58
Total	R\$ 10.660,38
Total + 10%	R\$ 11.726,42
2. Custos Contingenciais	
Custo contingencial = 0,3*custo do reservatório	R\$ 3.517,93
3. Custo de Manutenção e operação	
Dados de entrada:	
$i = 8,14 \% \text{ a.a}$	
$j = 5,55 \% \text{ a.a}$	
$TH = 20 \text{ anos}$	
$CC_{SAAP} = R\$ 11.726,42$	
$CM_{SAAP} = \sum_{n=1}^{TH} 0,06 \frac{CC_{SAAP}(1+i)^n}{(1+j)^n}$	R\$ 18.328,49
4. Custo total	
Custo total = custo do reservatório + custos contingenciais + custo de manutenção e operação	R\$ 33.572,83

Fonte: Próprio autor.

Tabela 38 - Evolução do Custo Nacional da Construção Civil

ANO	AUMENTO DE CUSTO DO SINAPI ANUAL (%)
2001	8,94
2002	13,42
2003	14,31
2004	10,95
2005	6,98
2006	5,13
2007	6,08
2008	11,73
2009	5,85
2010	7,36
2011	5,65
2012	5,68
2013	7,46
2014	6,95
2015	5,59
Média	8,14

Fonte: Adaptado de SINAPI (2018).

Tabela 39 - Taxa referencial anual

Ano	Taxa TR (%)
2008	1,63
2009	0,71
2010	0,69
2011	1,21
2012	0,29
2013	0,19
2014	0,86
2015	1,8
2016	2,01
2017	0,6
Média	0,999

Fonte: Adaptado de Banco Central do Brasil (2018) apud Taxa... (2018).

Tabela 40 - Taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade

TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (% a.a)	
Dados de entrada:	
SELIC = 6,5% a.a (nov./2018)	
TR = 0,99 % a.a	
Taxa mínima de atratividade	= 0,70*SELIC + TR
5,55% a.a	

Fonte: Próprio autor.

4.18 BENEFÍCIOS TOTAIS

Os benefícios com a implantação do sistema é a economia com gastos de energia para o sistema de bombeamento de água potável que será substituído por água de chuva subtraído do gasto com energia para o sistema de bombeamento do SAAP, ao longo do tempo de horizonte do projeto. Cabe ressaltar que não existe custo referente ao fornecimento de água devido o abastecimento de água da cooperativa ser através de poço semi-artesiano da própria cooperativa.

Para o cálculo do benefício foi considerado três cenários: cenário pessimista, cenário conservador e cenário otimista. Esses cenários foram levantados devido ao SAAP não atender a demanda durante todo o ano. Ao observar a tabela 49, do Apêndice B, verifica-se que para o volume de reservatório de 20.000 L a demanda de água de chuva só é suprida durante seis meses do ano (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril), logo durante os outros meses é necessário o uso de água potável também para atender a demanda.

Deste modo foram feita as seguintes considerações:

- ✓ Cenário pessimista: o reservatório de 20.000 L irá atender a demanda durante 4 meses do ano (janeiro, fevereiro, março e abril). Essa possibilidade seria considerando a hipótese de ocorrer precipitações abaixo da média para os meses de novembro e dezembro;
- ✓ Cenário conservador: o reservatório de 20.000 L irá atender a demanda durante seis meses do ano (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril). Esse cenário foi determinado conforme o resultado apresentado pelo o método da simulação para o volume de reservatório de 20.000 L (Tabela 49, apêndice B);
- ✓ Cenário otimista: o reservatório de 20.000 L irá atender a demanda durante oito meses do ano (outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e maio). Essa possibilidade seria considerando a hipótese de ocorrer precipitações acima da média para os meses de outubro e maio, meses este em que o suprimento com água potável é menor se comparado aos meses de junho, julho agosto e setembro (Tabela 49, apêndice B). Logo, nesses meses não seria usado água potável como complemento para suprir a demanda de água de chuva, uma vez que o volume de água pluvial coletado seria suficiente para atender a demanda.

Para encontrar a economia com energia para cada cenário, foram considerados os seguintes dados: tempo de funcionamento da bomba da cooperativa e da bomba do SAAP de 1,72 horas/dia e 6,66 horas/ dia, respectivamente; tarifa de energia elétrica de 0,853663 kWh, obtida pela conta de energia do mês de outubro de 2018 da cooperativa (tarifa sem considerar as bandeiras tarifárias); e quantidade de água potável substituída por água pluvial igual a 26,5 %. As tabelas 41,42 e 43 apresentam os resultados para os cenários pessimista, conservador e otimista, respectivamente.

Tabela 41 - Economia com energia para o cenário pessimista

BOMBA DA COOPERATIVA				
Dados:				
Potência da bomba do poço da cooperativa	Vazão	Altura manométrica	Tempo de funcionamento da bomba	Tarifa de energia
P= 25 cv = 18,3875 KW	10 m ³ /h	324 m.c.a	1,72 horas/dia	0,85362 R\$/KWh
Consumo de energia:				
Consumo de energia da bomba diário	Potência*numero de horas*1* tarifa de energia			R\$ 27,00
Consumo de energia da bomba mensal	Potência*numero de horas*30*valor da tarifa de energia			R\$ 809,91
Consumo de energia da bomba anual	Potência*numero de horas*30*4*valor da tarifa de energia			R\$ 3.239,64
BOMBA DO SAAP				
Dados:				
Potência da bomba do SAAP	Vazão	Altura manométrica	Tempo de funcionamento da bomba	Tarifa de energia
P= 0,5 cv = 0,37 KW	0,2865 m ³ /h	6,64 m.c.a	6,66 horas/dia	0,85362 R\$/KWh
Consumo de energia:				
Consumo de energia da bomba diário	Potência*numero de horas*1* tarifa de energia			R\$ 1,61
Consumo de energia da bomba mensal	Potência*numero de horas*30*valor da tarifa de energia			R\$ 48,35
Consumo de energia da bomba anual	Potência*numero de horas*30*4*valor da tarifa de energia			R\$ 193,39
ECONOMIA COM ENERGIA				
Dados:				
Consumo diário de água na cooperativa	Consumo de água na limpeza dos ambientes	Quantidade de água potável substituída por água pluvial		
7,2 m ³	1,91 m ³	26,5%		
Economia de gasto com energia com a substituição de água potável por água pluvial:				
0,265*consumo de energia da bomba do poço - consumo de energia da bomba do SAAP	Economia diária	R\$	5,54	
	Economia mensal	R\$	166,28	
	Economia anual	R\$	665,11	

Fonte: Próprio autor.

Tabela 42 - Economia com energia para o cenário conservador

BOMBA DA COOPERATIVA				
Dados:				
Potência da bomba do poço da cooperativa	Vazão	Altura manométrica	Tempo de funcionamento da bomba	Tarifa de energia
P= 25 cv = 18,3875 KW	10 m ³ /h	324 m.c.a	1,72 horas/dia	0,85362 R\$/KWh
Consumo de energia:				
Consumo de energia da bomba diário	Potência*numero de horas*1* tarifa de energia			R\$ 27,00
Consumo de energia da bomba mensal	Potência*numero de horas*30*valor da tarifa de energia			R\$ 809,91
Consumo de energia da bomba anual	Potência*numero de horas*30*6*valor da tarifa de energia			R\$ 4.859,46
BOMBA DO SAAP				
Dados:				
Potência da bomba do SAAP	Vazão	Altura manométrica	Tempo de funcionamento da bomba	Tarifa de energia
P= 0,5 cv = 0,37 KW	0,2865 m ³ /h	6,64 m.c.a	6,66 horas/dia	0,85362 R\$/KWh
Consumo de energia:				
Consumo de energia da bomba diário	Potência*numero de horas*1* tarifa de energia			R\$ 1,61
Consumo de energia da bomba mensal	Potência*numero de horas*30*valor da tarifa de energia			R\$ 48,35
Consumo de energia da bomba anual	Potência*numero de horas*30*6*valor da tarifa de energia			R\$ 290,09
ECONOMIA COM ENERGIA				
Dados:				
Consumo diário de água na cooperativa	Consumo de água na limpeza dos ambientes	Quantidade de água potável substituída por água pluvial		
7,2 m ³	1,91 m ³	26,5%		
Economia de gasto com energia com a substituição de água potável por água pluvial:				
0,265*consumo de energia da bomba do poço - consumo de energia da bomba do SAAP	Economia diária	R\$	5,54	
	Economia mensal	R\$	166,28	
	Economia anual	R\$	997, 67	

Fonte: Próprio autor.

Tabela 43 - Economia com energia para o cenário otimista

BOMBA DA COOPERATIVA				
Dados:				
Potência da bomba do poço da cooperativa	Vazão	Altura manométrica	Tempo de funcionamento da bomba	Tarifa de energia
P= 25 cv = 18,3875 KW	10 m ³ /h	324 m.c.a	1,72 horas/dia	0,85362 R\$/KWh
Consumo de energia:				
Consumo de energia da bomba diário	Potência*numero de horas*1* tarifa de energia			R\$ 27,00
Consumo de energia da bomba mensal	Potência*numero de horas*30*valor da tarifa de energia			R\$ 809,91
Consumo de energia da bomba anual	Potência*numero de horas*30*8*valor da tarifa de energia			R\$ 6.479,28
BOMBA DO SAAP				
Dados:				
Potência da bomba do SAAP	Vazão	Altura manométrica	Tempo de funcionamento da bomba	Tarifa de energia
P= 0,5 cv = 0,37 KW	0,2865 m ³ /h	6,64 m.c.a	6,66 horas/dia	0,85362 R\$/KWh
Consumo de energia:				
Consumo de energia da bomba diário	Potência*numero de horas*1* tarifa de energia			R\$ 1,61
Consumo de energia da bomba mensal	Potência*numero de horas*30*valor da tarifa de energia			R\$ 48,35
Consumo de energia da bomba anual	Potência*numero de horas*30*8*valor da tarifa de energia			R\$ 386,78
ECONOMIA COM ENERGIA				
Dados:				
Consumo diário de água na cooperativa	Consumo de água na limpeza dos ambientes	Quantidade de água potável substituída por água pluvial		
7,2 m ³	1,91 m ³	26,5%		
Economia de gasto com energia com a substituição de água potável por água pluvial:				
0,265*consumo de energia da bomba do poço - consumo de energia da bomba do SAAP	Economia diária	R\$	5,54	
	Economia mensal	R\$	166,28	
	Economia anual	R\$	1.330,26	

Fonte: Próprio autor.

O benefício total ao longo do tempo de horizonte de 20 anos, com a substituição de água potável por água de chuva foi determinado a partir da equação 22, para cada cenário. O resultado obtido foi considerando a taxa de aumento médio anual do custo da energia de 6,83% a.a e taxa de desconto igual à taxa mínima de atratividade de 5,55 % a.a (Tabela 44).

A taxa de aumento médio anual do custo da energia foi determinada a partir do aumento médio da tarifa energia elétrica para indústria no Nordeste, disponível em

R\$/MWh, no seguinte endereço: <http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550>. Para obter a taxa primeiro foi transformado o aumento da tarifa de R\$/MWh para R\$/kWh, por conseguinte em % a.a, para os anos de 2004 a 2018 e em seguida obteve-se a taxa média (Tabela 45).

Tabela 44 - Benefício total com a substituição de água potável por água pluvial para os cenários pessimista, conservador e otimista

Cenário	Economia anual com a substituição de água potável por água pluvial	Taxa de aumento médio anual do custo da energia	Taxa de desconto	Tempo de Horizonte	Benefício com a substituição de água potável por água pluvial
Pessimista	R\$ 665,11	6,83 % a.a	5,55 % a.a	20 anos	R\$ 15.133,50
Conservador	R\$ 997,67	6,83 % a.a	5,55 % a.a	20 anos	R\$ 22.700,37
Otimista	R\$ 1.330,23	6,83 % a.a	5,55 % a.a	20 anos	R\$ 30.267,23

Fonte: Próprio autor.

Tabela 45 - Taxa de aumento médio anual do custo da tarifa de energia para indústria na região Nordeste

Ano	Taxa (% a.a)
2004	16,13
2005	15,12
2006	8,90
2007	6,52
2008	-5,22
2009	2,25
2010	5,14
2011	5,84
2012	7,64
2013	-18,97
2014	9,32
2015	23,67
2016	7,09
2017	8,67
2018	10,30
Média	6,83

Fonte: Adaptado de ANEEL (2019).

4.19 MÉTODOS PARA ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica foi realizada através dos métodos período de retorno do investimento, relação benefício/custo e valor presente líquido. Para o primeiro método foi

considerados os três cenários. Para os dois últimos métodos os cálculos foram realizados considerando os benefícios e o período de retorno do cenário conservador.

4.19.1 Período de Retorno do Investimento

O período de retorno do investimento foi obtido a partir da divisão do total de investimentos pelo lucro anual médio, sendo o lucro anual médio o resultado da divisão do benefício total pelo tempo de horizonte (Tabela 46). Os períodos de retorno encontrados foram de 44 anos para o cenário pessimista, 30 anos para o cenário conservador e 22 anos para o cenário otimista. Logo, para todos os cenários o período de retorno do investimento foi maior que o tempo de horizonte e/ou vida útil do SAAP, que foi considerado como 20 anos. Deste modo, pelo período de retorno o sistema pode ser considerado como inviável economicamente.

Tabela 46 - Período de retorno do investimento para os cenários pessimista, conservador e otimista

Cenário	Total de investimentos	Lucro anual médio	Período de retorno do investimento (anos)
Pessimista	R\$ 33.572,83	R\$ 756,68	44
Conservador	R\$ 33.572,83	R\$ 1.135,02	30
Otimista	R\$ 33.572,83	R\$ 1.513,36	22

Fonte: Próprio autor.

4.19.2 Relação Benefício/Custo

A relação Benefícios/Custos consiste no quociente dos benefícios totais pelos custos totais do SAAP. O cenário escolhido para os benefícios totais foi o conservador. O resultado encontrado foi 0,68 (Tabela 47), que indica que o SAAP é inviável economicamente de implantação, uma vez que os custos são maiores que os benefícios ($B < C$).

Tabela 47 - Relação Benefício/Custo

Benefícios totais	Custos totais	Benefício/Custo
R\$ 22.700,37	R\$ 33.572,83	0,68

Fonte: Próprio autor.

4.19.3 Valor Presente Líquido

O cálculo do valor presente líquido foi efetuado através da função VPL do Excel, considerando o período de 30 anos, período este o tempo de retorno do cenário conservador. O fluxo de caixa considerado foi o valor fixo de R\$ 1.135,02, e taxa mínima de atratividade de 5,55 % a.a. No fluxo de caixa não foi descontado montante referente à manutenção do sistema, uma vez que por ser uma indústria de pequeno porte e por ser um sistema simples, a manutenção será resumida principalmente a limpeza das calhas, do filtro e do reservatório antes do início período chuvoso e após as primeiras chuvas, e este serviço pode ser realizado pelos próprios funcionários da cooperativa. O resultado obtido para o valor presente líquido foi positivo (Tabela 48), o que indica que o sistema é viável. Porém, apesar de obter o $VPL > 0$, o período para o qual foi realizado o somatório é maior que o período de vida útil do sistema, o que configura a inviabilidade econômica de implantação do sistema.

Tabela 48 - Valor Presente Líquido

Custo de construção do sistema de captação de águas pluviais (I_0)	Período para o qual o cálculo contido no somatório está sendo realizado (n)	Diferença entre a economia no consumo de energia e os custos de manutenção do sistema ($FCL(n)$)	Taxa mínima de atratividade (i)	Valor presente líquido em um dado período t ($VPL(t)$)
R\$ 15.244,34	30 anos	R\$ 1.135,02	5,55 % a.a	R\$ 1.161,05

Fonte: Próprio autor.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram dimensionados os itens principais de um Sistema de Aproveitamento de Águas pluviais como calhas, condutores horizontais e verticais, reservatório e sistema elevatório. O sistema em estudo é um sistema do tipo infiltração no solo, uma vez que não há rede de drenagem no local de implantação do sistema. Foi realizado o levantamento de custo de implantação do sistema e os benefícios que o sistema traria ao substituir água potável por água de chuva para realizar a limpeza dos ambientes da indústria. Os custos e os benefícios foram quantificados considerando uma proposta de SAAP contendo quatro calhas de 18,5 m de comprimento cada uma, quatro condutores verticais, e três trechos de condutores horizontais ligados aos condutores verticais e um condutor principal que conduzirá toda a água coletada ao reservatório inferior e mais um reservatório superior e um sistema elevatório contendo duas bombas, sendo uma reserva.

O levantamento de custos foi realizado por estimativa, a partir do valor do item reservatório, que neste estudo engloba reservatório inferior, reservatório superior e conjunto motobomba. O custo do sistema de condução da água de chuva, como calhas, condutores e conexões e os serviços relacionados à implantação do sistema, assim como o sistema de distribuição foram quantificados em 30% do item reservatório e, por fim, o custo de operação e manutenção foi quantificado como 6% do custo do item reservatório. A somatória de todos esses custos resultou no custo total do SAAP. Já os benefícios da implantação do SAAP foram obtidos através da economia com energia para acionamento do conjunto motobomba do poço que abastece a cooperativa subtraído do gasto com energia para a acionamento do conjunto motobomba do SAAP.

E por fim, em relação à análise econômica, os resultados obtidos através dos indicadores econômicos Período de Retorno do Investimento (*Payback*), Relação Benefícios/Custo e Valor Presente Líquido indicaram que o Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva proposto é inviável economicamente de ser implantado, uma vez que o período de retorno do investimento é maior que o período de vida útil para o qual o sistema foi calculado, que é de 20 anos.

Contudo, é necessário enfatizar que, a implantação de um sistema para captação de água chuva, além de evitar desperdícios e consumo excessivo de água potável, é uma alternativa viável para aplacar os impactos das precipitações em casos de inundações e evitar sobrecarga dos sistemas de drenagem nas áreas urbanas. Portanto, além da viabilidade econômica devem ser analisados também os benefícios ambientais que a

implantação do sistema irá contemplar. Embora a área em estudo esteja localizada fora do perímetro urbano, este estudo é uma iniciativa essencial para servir como modelo para o desenvolvimento de outros estudos desse tipo em área urbana na cidade de Balsas/MA. A implantação de um SAAP diminui a captação de água subterrânea e superficial, auxiliando assim na preservação desse recurso natural que é essencial à vida no planeta, o que caracteriza esse tipo de sistema como um sistema sustentável.

6 RECOMENDAÇÕES

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- ✓ Observar a demanda de água de chuva e o volume de chuva possível de ser captado pela área de captação disponível, para que já se tem uma noção se é vantajoso ou não continuar com o estudo;
- ✓ Dimensionar todos os itens do Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial, inclusive o sistema de distribuição, que não foi dimensionado neste estudo;
- ✓ Fazer o levantamento de custo de todos os itens do SAAP, através do SINAPI ou por pesquisa de preço e fazer o levantamento dos custos também por estimativa, como foi realizado neste trabalho, e comparar os resultados;
- ✓ Fazer a análise econômica considerando no mínimo duas propostas distintas do SAAP, principalmente com volumes de reservatórios diferentes e de diferentes materiais, tipo comparar reservatórios de fibras e reservatórios de concreto, para diversos volumes e verificar qual o mais viável;
- ✓ Fazer a análise econômica sempre por mais de um método, no mínimo dois métodos;
- ✓ Fazer não apenas a análise econômica, mas também uma análise das vantagens e desvantagens ambientais que a implantação de um SAAP pode trazer para um determinado local.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (Brasil). **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. [S. l.]: ANA. Disponível em:

http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf. Acesso em: 10 jul. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Água na indústria: uso e coeficientes técnicos**. Brasília: ANA, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Fornecimento**. [S. l.]: ANEEL. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550> . Acesso em: 5 jan. 2019.

ÁGUAS pluviais e drenagem catálogo técnico Tigre. Disponível em: http://www.cfg.com.br/up_catalogos/catalogo_predial_aguaspluviais_e_drenagem.pdf. Acesso em: 3 jan. 2019.

APROVEITAMENTO de água de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas. Disponível em: <http://www.acquacon.com.br/aguadechuva/plinio.pdf> . Acesso em: 3 jan. 2019.

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

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

_____. **ABNT NBR 13969: tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. **ABNT NBR 12213: Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público: procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992 a.

_____. **ABNT NBR 12214: Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992 b.

_____. **ABNT NBR 12217: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

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

_____. **ABNT NBR 5688: Tubos e conexões de PVC-U para sistemas prediais de água pluvial, esgoto sanitário e ventilação: requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

AZEVEDO NETO, J. M. *et al.* **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 1998.

BERTOLO, E. J. P. **Aproveitamento da Água da Chuva em Edificações**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente: tratamento de água e águas residuais), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006. Disponível em:

<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60529/2/Texto%20integral.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2019.

BOMBAS centrífugas. Disponível em: <https://www.ecobiosolucoes.com.br/loja/bombas-centrifugas/135-bomba-centrif-ksb-hydrobloc-c500n-12cv-2p-127220v-monof-1-x-34->. Acesso em: 4 fev. 2019.

BOTELHO, M. H. C.; RIBEIRO JUNIOR, G. A. **Instalações hidráulicas prediais utilizando tubos plásticos**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

BRECKENFELD, K. A. A. **Dimensionamento econômico de reservatório para aproveitamento de água de chuva em residência**: desenvolvimento de software. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: https://security.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy_of_2016.1/dimensionamento-economico-de-reservatorio-para-aproveitamento-de-agua-de-chuva-em-residencia-desenvolvimento-de-software.pdf. Acesso em: 25 jan. 2019.

CALHAS. Disponível em: <http://www.lioticalhas.com.br/calhas.html>. Acesso em: 3 jan. 2019.

CAPTAÇÃO de Água de Chuva: história. Disponível em: http://www.recriarcomvoce.com.br/blog_recriar/captao-de-gua-de-chuva-histria/. Acesso em: 13 set. 2018.

CATÁLOGO linha predial Amanco. Disponível em: http://assets.production.amanco.com.br.s3.amazonaws.com/uploads/gallery_asset/file/1/CATALOGO_LINHA_PREDIAL_2015.pdf. Acesso em: 3 jan. 2019a.

CATÁLOGO FORTLEV. Disponível em: http://www.fortlev.com.br/uploads/2015/03/catalogo_de_produtos.pdf. Acesso em: 3 jan. 2019b.

CAMPOS, A. R. *et al.* Equações de intensidade de chuvas para o estado do maranhão. **Engenharia na agricultura / Engineering in Agriculture**, [S.l.], v. 23, n. 5, p. 435-447, nov. 2015.

CIMENTO montes claros. Disponível em: <http://cimentomontesclaros.com.br/tipos-de-calha/>. Acesso em: 3 jan. 2019.

CORDOVA, M. M. **Aperfeiçoamento do programa computacional netuno**: análise econômica. 2009. Relatório de Iniciação Científica - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_ic/IC_Marcelo_Marcel_Cordova.pdf. Acesso em: 25 jan. 2019.

CORREIA FILHO, F. L.; GOMES, E. R.; NUNES, O. O.; LOPES FILHO, J. B. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de Balsas. Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011.

COSTA, A. R. M. **Limites de aplicabilidade para sistemas automáticos de descarte de água de chuva**: estudo de caso. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xlmui/handle/123456789/123456>. Acesso em: 25 jan. 2019.

DIAS, I. C. S. **Estudo da viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento de água de chuva em residências na cidade de João Pessoa**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5570/1/arquivototal.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2019.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - FIRJAN. **Manual de Conservação e Reúso de água na Indústria**. Rio de Janeiro: DIM, 2006.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4**: manual do usuário. Florianópolis, 2014. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/Manual-Netuno-4_Junho2014.pdf. Acesso em: 28 out. 2018.

GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da água da chuva**. Curitiba: Organic Trading, 2002.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil - Agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 75 - 95, out./dez. 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Município de Balsas**. IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/balsas/panorama>. Acesso em: 1 out. 2018.

LUCAS, F. V. **Sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais em indústria de alimentos**. 2016. Relatório (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: http://bdm.unb.br/bitstream/10483/16648/1/2016_FelipeVitorianoLucas_tcc.pdf. Acesso em: 25 jan. 2019.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <http://observatorio.faculdadeguanambi.edu.br/wp-content/uploads/2015/07/May-2004.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2019.

MAY, S.; PRADO, R. T. A. **Estudo da Qualidade da Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10., 2004, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: [s.n.], 2004.

MARINOSKI, A. K. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino**: estudo de caso em Florianópolis - SC. 2007. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em:

http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/tccs/TCC_Ana_Kelly_Marinoski.pdf. Acesso em: 25 jan. 2019.

MÉRITO comercial. Disponível em: <http://m.mritocomercial.com.br/bomba-centrifuga-ksb-hydrobloc-c500n-0-5-cv-trifasica-220-380v-p1020038>. Acesso em: 3 jan. 2019.

OLIVEIRA, S. M. **Aproveitamento da água da chuva e reúso de água em residências unifamiliars**: estudo de caso em palhoça – SC. 2005. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

Disponível em:

http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/tccs/TCC_Sulayre_Mengotti_Oliveira.pdf. Acesso em: 25 jan. 2019.

PALHARES, J. C. P. **Captação de água de chuva e armazenamento em cisterna para uso na produção animal**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2016. Disponível em: <http://cppse.embrapa.br/sites/default/files/principal/publicação/documentos122.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2019.

PEDRONI, G. P. **Aproveitamento de água da chuva em uma escola pública de Caxias do Sul**. 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/78236>. Acesso em: 25 jan. 2019.

PORTAL de finanças. Disponível em: <http://www.portaldefinancas.com/selic1819.htm>. Acesso em: 28 dez. 2018.

REGELMIER, F. A.; KOZERSKI, C. E. **Aproveitamento de água da chuva em zonas rurais**: captação e reservação. *In*: Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, 19. , 2015, Poços de Caldas. Artigo [...]. Poços de Caldas: [s.n.], 2015.

REIS, P. H. R. **Avaliação econômica de sistema de aproveitamento de água pluvial em edificação residencial multifamiliar em três capitais brasileiras**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em:

https://www.eec.ufg.br/up/140/o/AVALIA%C3%87%C3%83O_ECON%C3%94MICA_DE_O_SISTEMA_DE_APROVEITAMENTO_DE_%C3%81GUA_PLUVIAL_EM_EDIFICA%C3%87%C3%83O_RESIDENCIAL_M%C3%9ALTIFAMILIAR_EM_TR%C3%8AS_CAPITAIS_BRASILEIR.pdf. Acesso em: 3 fev. 2019.

RUPP, R. F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47 – 64, out./dez. 2011.

SAMPAIO, F. E. O. V. **Análise da viabilidade de implantação e pré-dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial em centros urbanos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013 Disponível em:

http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/15219/1/2013_FelipeEugeniodeOliveiraVazSampaio.pdf. Acesso em: 25 jan. 2019.

SARAIVA, C. B. *et al.* Consumo de água e geração de efluentes em uma indústria de laticínios. **Rev. Inst. Latic.** “Cândido Tostes”, [S. l.], v. 64, nº 367/368, p. 10-18, mar./jun. 2009.

SISTEMA NACIONAL DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (Brasil). **Desenvolvimento urbano**. SINAPI. Disponível em: <http://webp.caixa.gov.br/casa/sinapi/index.asp?menu=8>. Acesso em: 31 dez. 2018.

SILVA, F. K.; EYNG, J. O tratamento de águas residuais de indústria de laticínios: um estudo comparativo entre os métodos de tratamento com biofiltro e com o sistema convencional de lagoas. **Rev. Gest. Sust. Ambiente**, Florianópolis, v. 1, n. 2, p. 4 – 22, out. 2012/mar. 2013.

SOARES, H. **Hidráulica geral**. 2011. Disponível em: http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2011/10/Homero_Cap%C3%ADtulo-4_23102011_PDF1.pdf. Acesso em: 10 set. 2018.

TABELA para seleção de bombas e motobombas. 2017. Disponível em: http://www.schneider.ind.br/media/205169/tabela-de-selecao_-28062017-web.pdf. Acesso em: 30 dez. 2018.

TAXA referencial: veja o valor da TR mensal e como ela influencia seus investimentos. Disponível em: <https://www.tororadar.com.br/investimento/taxa-referencial-o-que-e-tr-mensal-calculo>. Acesso em: 28 dez. 2018.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva de cobertura em área urbana para fins não potáveis**. 2009. Disponível em: http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/livro_conservacao/capitulo8.pdf. Acesso em: 10 set. 2018.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. Vol. 1, 2010. Disponível em: http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf. Acesso em: 10 set. 2018.

TOMAZ, P. **Capítulo 9**: método de Rippl. 2011. Disponível em: http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Capitulo09.pdf. Acesso em: 30 out. 2018.

TOMAZ, P. **Capítulo 109**: dimensionamento de reservatórios de água de chuva. 2012. Disponível em: http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livro_calculos/capitulo109_julho.pdf. Acesso em: 30 out. 2018.

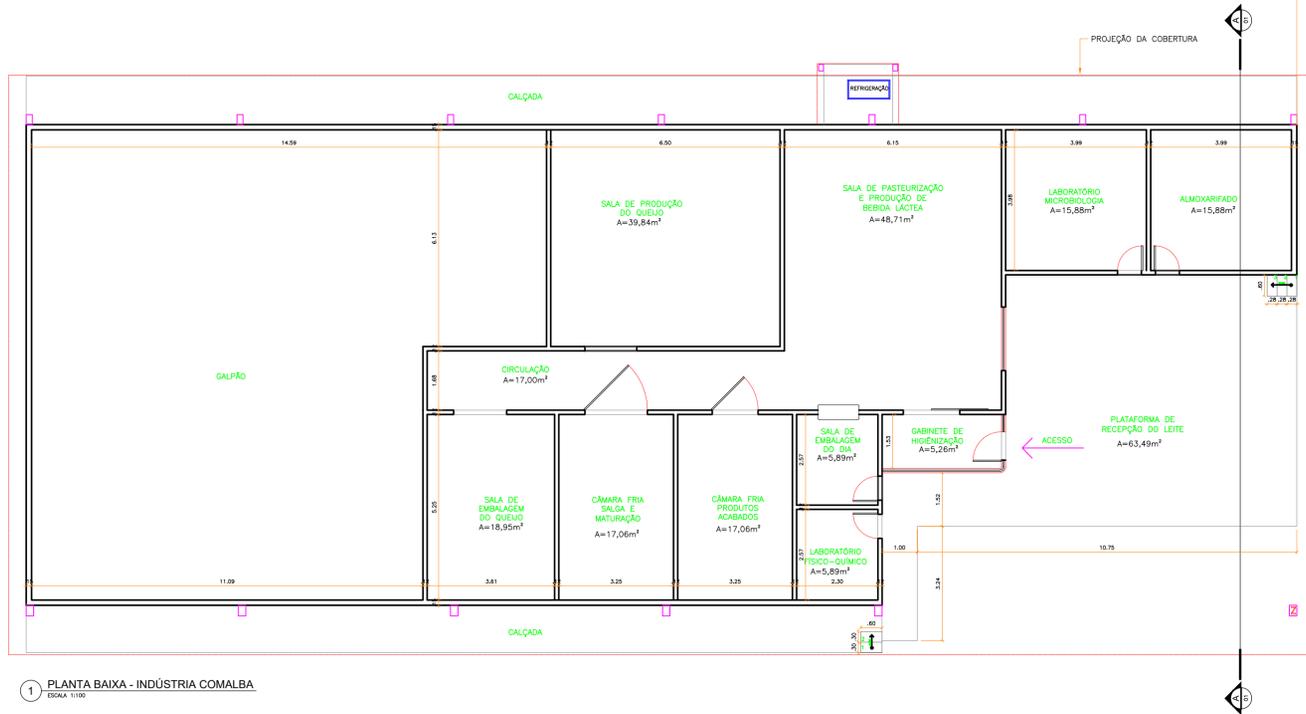
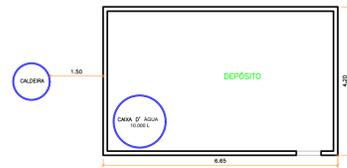
TUNDISI, et al. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo, 2006.

TUNDISI, J. G; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos hídricos no Século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

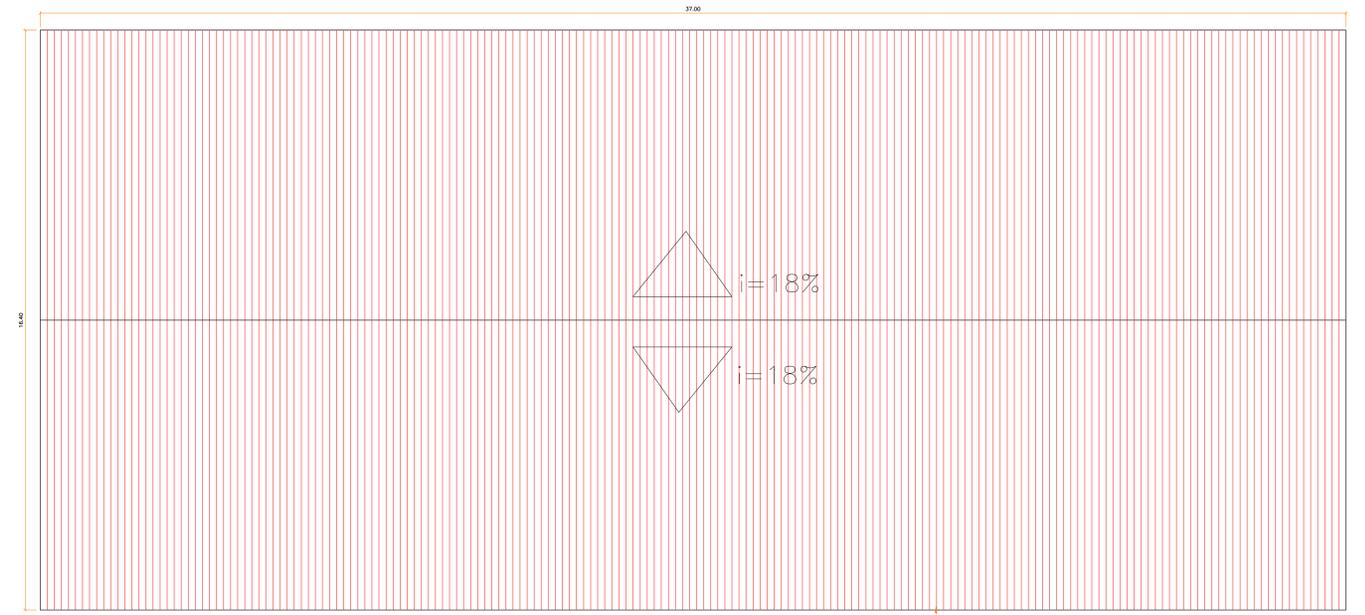
UNESCO. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016: Água e emprego fatores numéricos**. 2016. Disponível em:<<
<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002440/244041por.pdf>>>. Acesso em: 14 set.
2018.

ZANELLA, L. **Manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva**. São Paulo, 2015. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/274371165_Manual_para_captacao_emergencial_e_uso_domestico_de_agua_de_chuva. Acesso em: 28 out. 2018.

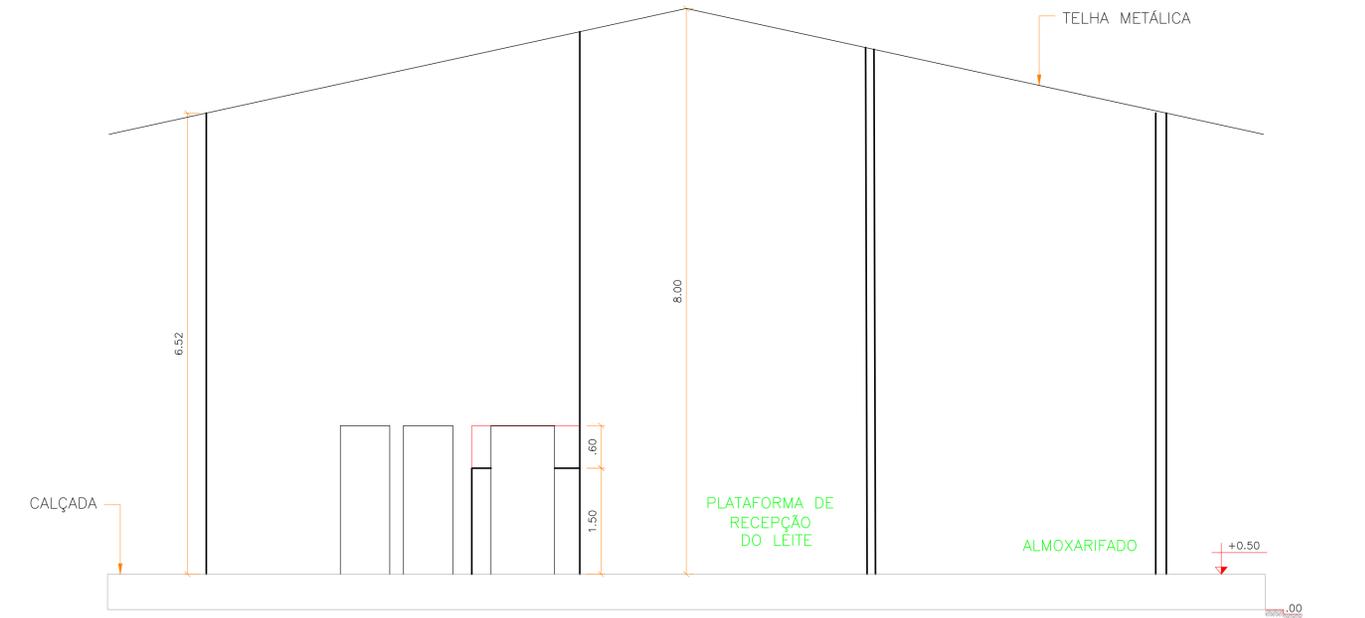
**APÊNDICE A – LAYOUT DA INDÚSTRIA DE LATÍCINIO: PLANTA BAIXA,
PLANTA DE COBERTURA E ESQUEMA VERTICAL**



1 PLANTA BAIXA - INDÚSTRIA COMALBA
ESCALA 1:100



2 PLANTA DE COBERTURA
ESCALA 1:100



3 CORTE AA
ESCALA 1:50

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CAMPUS BALSAS

TÍTULO: PROPOSTA DE SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL
 RESPONSÁVEL TÉCNICO: PRÓPRIO AUTOR
 CLIENTE: INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS
 ASSUNTO: PLANTA BAIXA, PLANTA DE COBERTURA E ESQUEMA VERTICAL
 DATA: 04/02/2019

APÊNDICE B – DEMANDA DE ÁGUA PARA A LIMPEZA DOS AMBIENTES

AMBIENTES	LIMPEZA		FREQUÊNCIA DE LAVAGEM		EQUIPAMENTO DE LAVAGEM: mangueira			CONSUMO ESTIMADO (m ³)			
	ÁREA (m ²)	LOCAL	dias/semana	dias/mês	TIPO	Q MÉDIO (L/min)	TEMPO DE UTILIZAÇÃO (min)	DIÁRIO	SEMANAL	MENSAL	ANUAL
INDÚSTRIA											
PLANTAFORMA DE RECEPÇÃO DE LEITE	65,73	piso	7		3/4" ou 20 mm	20,76	20	0,42	2,91	12,45	149,46
ALMOXARIFADO	14,40	piso	1		3/4" ou 20 mm	20,76	3	0,06	0,06	0,25	2,99
LABORATÓRIO MICROBIOLÓGICO	14,40	piso	1		3/4" ou 20 mm	20,76	3	0,06	0,06	0,25	2,99
SALA DA PASTEURIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE BEBIDA LÁCTEA	46,36	piso	6		3/4" ou 20 mm	20,76	24	0,50	2,99	11,96	143,48
	62,56	parede		1	3/4" ou 20 mm	20,76	30	0,62	*	0,62	7,47
	46,36	teto		1	3/4" ou 20 mm	20,76	3	0,06	*	0,06	0,75
SALA DA PRODUÇÃO DE QUEIJO	38,00	piso	7		3/4" ou 20 mm	20,76	19,5	0,40	2,83	12,14	145,72
	79,04	parede	1 (período de seca) 3 (período chuvoso)		3/4" ou 20 mm	20,76	40	0,83	0,83 ¹ 2,49 ²	3,32 ¹ 9,96 ²	86,37
	38,00	teto	1 (período de chuvoso)	1 (período de seca)	3/4" ou 20 mm	20,76	2,5	0,05	0,05 ²	0,05 ¹	3,00
SALA DE EMBALAGEM DO QUEIJO	17,50	piso	1 (período de seca e chuvoso)		3/4" ou 20 mm	20,76	9	0,19	0,19	0,75	8,97
	54,40	parede		2 (apenas no período chuvoso)	3/4" ou 20 mm	20,76	28	0,58	*	1,16	13,95
CÂMARA FRIA (SALGA E MATURACÃO)	16,25	piso		2	3/4" ou 20 mm	20,76	8,3	0,17		0,34	4,14
	52,80	parede		2	3/4" ou 20 mm	20,76	27	0,56	*	1,12	13,45
	16,25	teto		2	3/4" ou 20 mm	20,76	1,1	0,02	*	0,05	0,55
CÂMARA FRIA (PRODUTOS ACABADOS)	16,25	piso	1		3/4" ou 20 mm	20,76	8,3	0,17	0,17	0,69	8,27
	52,80	parede		2	3/4" ou 20 mm	20,76	27	0,56	*	1,12	13,45
	16,25	teto		2	3/4" ou 20 mm	20,76	1,1	0,02	*	0,05	0,55
SALA DE EMBALAGEM DO DIA	5,58	piso	1		3/4" ou 20 mm	20,76	3	0,06	0,06	0,25	2,99
LABORATÓRIO FÍSICO-QUÍMICO	5,58	piso	1		3/4" ou 20 mm	20,76	3	0,06	0,06	0,25	2,99
GABINETE DE HIGIENIZAÇÃO	3,65	piso	7		3/4" ou 20 mm	20,76	2	0,04	0,29	1,25	14,95
CIRCULAÇÃO	16,72	piso	7		3/4" ou 20 mm	20,76	8,5	0,18	1,24	5,29	63,52
TOTAL								**	11,69¹ 13,40²	53,42¹ 60,06²	690,0

Fonte: Próprio autor.

Nota:

*não são realizadas limpezas semanais.

** não foi realizado somatório, pois esses valores que estão na coluna "DIÁRIO" referem-se ao volume de água usado durante um dia, no dia em que é realizada a limpeza.

¹período de estiagem.

²período chuvoso.

**APÊNDICE C – EFICIÊNCIA DO SISTEMA PARA OS VOLUMES DE
RESERVATÓRIO V= 20 m³, V= 30 m³ E V= 40 m³**

Tabela 49 – Eficiência do sistema para o volume de reservatório V=20 m³ pelo método da simulação

Volume do reservatório pré-dimensionado (V)						20 m ³				
Precipitação	Área Captação	D	C	Q(t)	V	(St-1)	(St)	Overflow	Suprim. de água ext.	
MÊS	P	A	m ³	C	m ³	m ³	m ³	m ³		
Janeiro	220,89	671,18	60,06	0,8	118,61	20	0	20,00	38,55	0,00
Fevereiro	162,07	671,18	60,06	0,8	87,02	20	20,00	20,00	26,96	0,00
Março	192,06	671,18	60,06	0,8	103,13	20	20,00	20,00	43,07	0,00
Abril	111,44	671,18	60,06	0,8	59,84	20	20,00	19,78	0,00	0,00
Mai	41,47	671,18	53,42	0,8	22,27	20	19,78	-11,38	0,00	11,38
Junho	5,61	671,18	53,42	0,8	3,01	20	0,00	-50,41	0,00	50,41
Julho	2,01	671,18	53,42	0,8	1,08	20	0,00	-52,34	0,00	52,34
Agosto	4,19	671,18	53,42	0,8	2,25	20	0,00	-51,17	0,00	51,17
Setembro	20,58	671,18	53,42	0,8	11,05	20	0,00	-42,37	0,00	42,37
Outubro	88,58	671,18	60,06	0,8	47,56	20	0,00	-12,50	0,00	12,50
Novembro	143,87	671,18	60,06	0,8	77,25	20	0,00	17,19	0,00	0,00
Dezembro	192,48	671,18	60,06	0,8	103,35	20	17,19	20,00	40,48	0,00
EFICIÊNCIA DO SISTEMA						Nr	N	Pr		
						6	12	50%		

Tabela 50 - Eficiência do sistema para o volume de reservatório V= 30 m³ pelo método da simulação

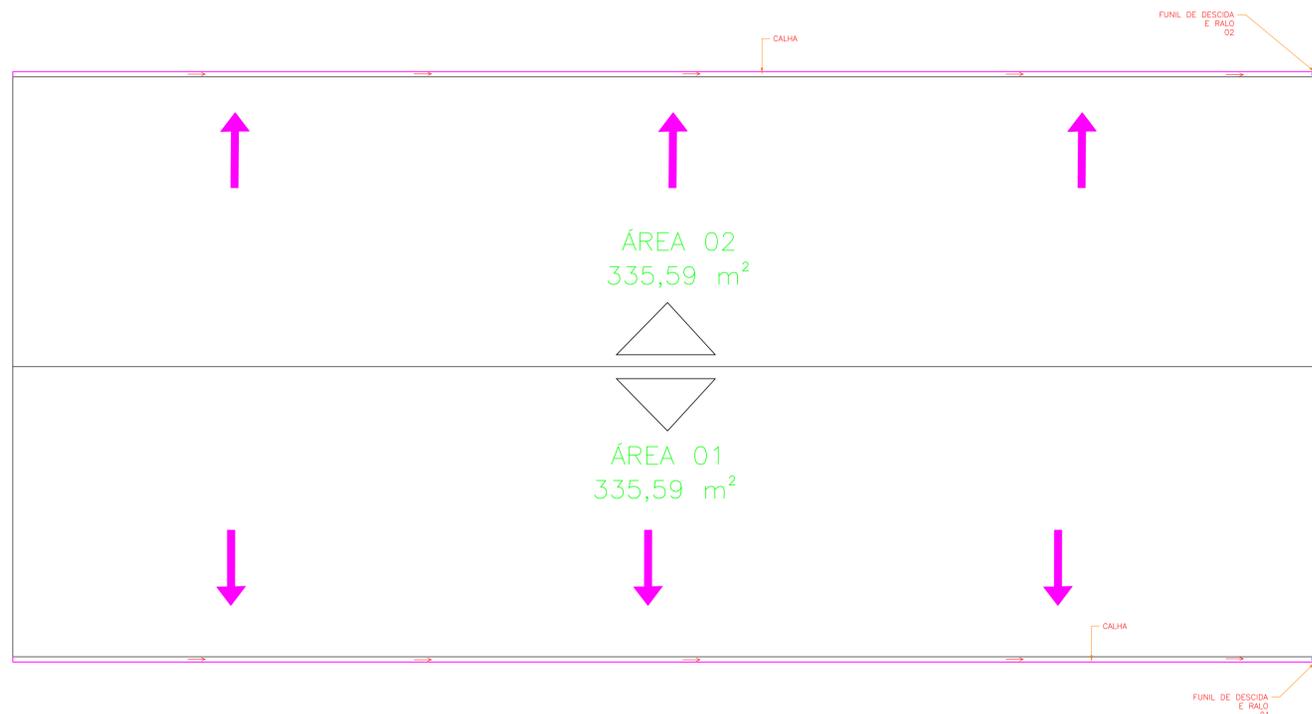
Volume do reservatório pré-dimensionado (V)						30 m ³				
Precipitação	Área Captação	D	C	Q(t)	V	(St-1)	(St)	Overflow	Suprim. de água ext.	
MÊS	P	A	m ³	C	m ³	m ³	m ³	m ³		
Janeiro	220,89	671,18	60,06	0,8	118,61	30	0	30,00	28,55	0,00
Fevereiro	162,07	671,18	60,06	0,8	87,02	30	30,00	30,00	26,96	0,00
Março	192,06	671,18	60,06	0,8	103,13	30	30,00	30,00	43,07	0,00
Abril	111,44	671,18	60,06	0,8	59,84	30	30,00	29,78	0,00	0,00
Mai	41,47	671,18	53,42	0,8	22,27	30	29,78	-1,38	0,00	1,38
Junho	5,61	671,18	53,42	0,8	3,01	30	0,00	-50,41	0,00	50,41
Julho	2,01	671,18	53,42	0,8	1,08	30	0,00	-52,34	0,00	52,34
Agosto	4,19	671,18	53,42	0,8	2,25	30	0,00	-51,17	0,00	51,17
Setembro	20,58	671,18	53,42	0,8	11,05	30	0,00	-42,37	0,00	42,37
Outubro	88,58	671,18	60,06	0,8	47,56	30	0,00	-12,50	0,00	12,50
Novembro	143,87	671,18	60,06	0,8	77,25	30	0,00	17,19	0,00	0,00

Dezembro	192,48	671,18	60,06	0,8	103,35	30	17,19	30,00	30,48	0,00	
EFICIÊNCIA DO SISTEMA							Nr	N	Pr		
							6	12	50%		

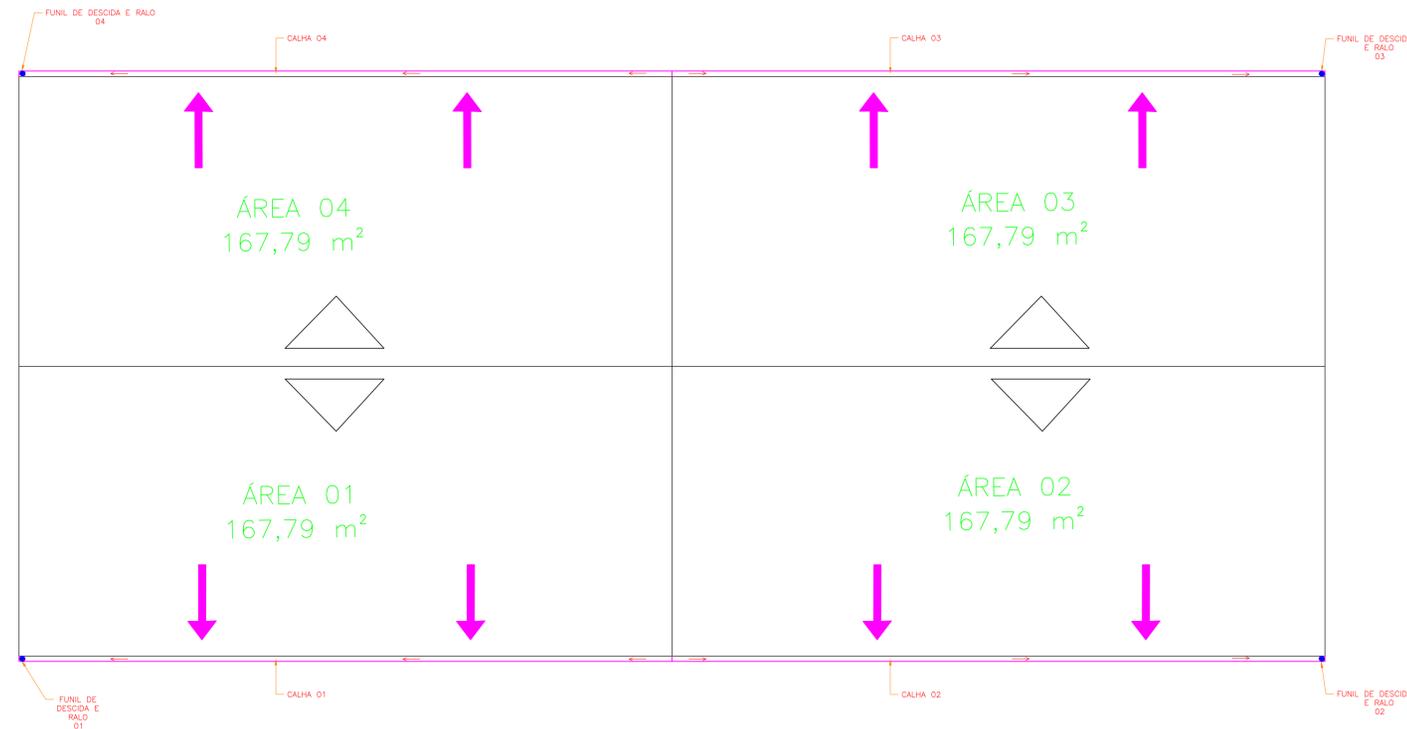
Tabela 51 - Eficiência do sistema para o volume de reservatório $V= 40 \text{ m}^3$ pelo método da simulação

Volume do reservatório pré-dimensionado (V)							40 m ³				
Precipitação	Área Captação	D	C	Q(t)	V	(St-1)	(St)	Overflow	Suprim. de água ext.		
MÊS	P	A	m ³	C	m ³	m ³	m ³	m ³			
Janeiro	220,89	671,18	60,06	0,8	118,61	40	0	40,00	18,55	0	
Fevereiro	162,07	671,18	60,06	0,8	87,02	40	40,00	40,00	26,96	0,00	
Março	192,06	671,18	60,06	0,8	103,13	40	40,00	40,00	43,07	0,00	
Abril	111,44	671,18	60,06	0,8	59,84	40	40,00	39,78	0,00	0,00	
Mai	41,47	671,18	53,42	0,8	22,27	40	39,78	8,62	0,00	0,00	
Junho	5,61	671,18	53,42	0,8	3,01	40	8,62	-41,78	0,00	41,78	
Julho	2,01	671,18	53,42	0,8	1,08	40	0,00	-52,34	0,00	52,34	
Agosto	4,19	671,18	53,42	0,8	2,25	40	0,00	-51,17	0,00	51,17	
Setembro	20,58	671,18	53,42	0,8	11,05	40	0,00	-42,37	0,00	42,37	
Outubro	88,58	671,18	60,06	0,8	47,56	40	0,00	-12,50	0,00	12,50	
Novembro	143,87	671,18	60,06	0,8	77,25	40	0,00	17,19	0,00	0,00	
Dezembro	192,48	671,18	60,06	0,8	103,35	40	17,19	40,00	20,48	0,00	
EFICIÊNCIA DO SISTEMA							Nr	N	Pr		
							7	12	58%		

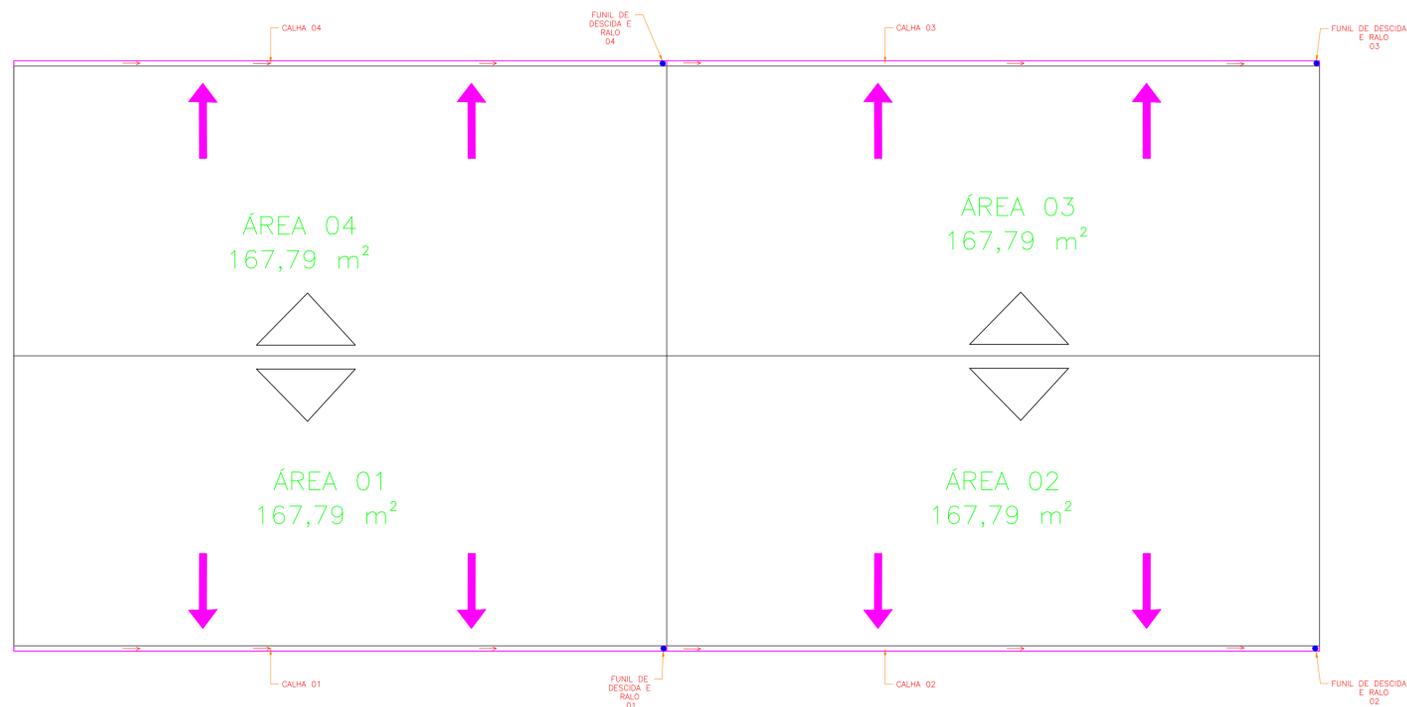
**APÊNDICE D – PROPOSTAS DE DISPOSIÇÃO DAS CALHAS E DESCIDA DE
ÁGUA PARA OS CONDUTORES VERTICIAIS**



OPÇÃO 01: COBERTURA DIVIDIDA EM DUAS ÁREAS, UMA CALHA PARA CADA ÁREA E UMA DESCIDA DE ÁGUA PARA O CONDUTOR VERTICAL PARA CADA CALHA



OPÇÃO 02: COBERTURA DIVIDIDA EM QUATRO ÁREAS, UMA CALHA PARA CADA ÁREA E E UMA DESCIDA DE ÁGUA PARA O CONDUTOR VERTICAL PARA CADA CALHA , SENDO O CONDUTOR VERTICAL POSICIONADO NAS EXTREMIDADES DA EDIFICAÇÃO.



OPÇÃO 03: COBERTURA DIVIDIDA EM QUATRO ÁREAS, UMA CALHA PARA CADA ÁREA E UMA DESCIDA DE ÁGUA PARA O CONDUTOR VERTICAL PARA CADA CALHA, SENDO DOIS CONDUTORES VERTICAIS POSICIONADO NAS EXTREMIDADES DIREITA EDIFICAÇÃO E OS OUTROS DOIS POSICIONADOS NA ESTREMEIDADE DIREITA DAS ÁREAS 01 E 04, RESPECTIVAMENTE.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CAMPUS BALSAS

TÍTULO: PROPOSTA DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

RESPONSÁVEL TÉCNICO: PRÓPRIO AUTOR

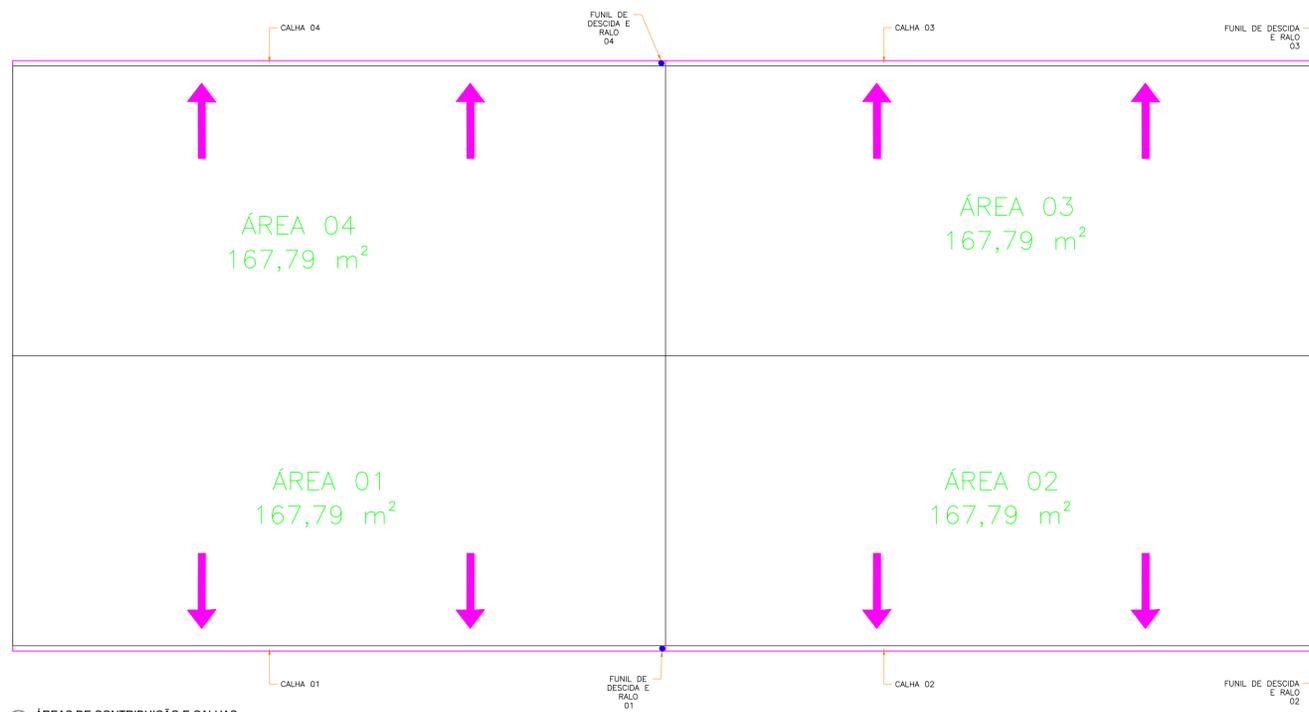
CLIENTE: INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS

ASSUNTO: PROPOSTA PARA A DISPOSIÇÃO DAS CALHAS E DESCIDA DE ÁGUA

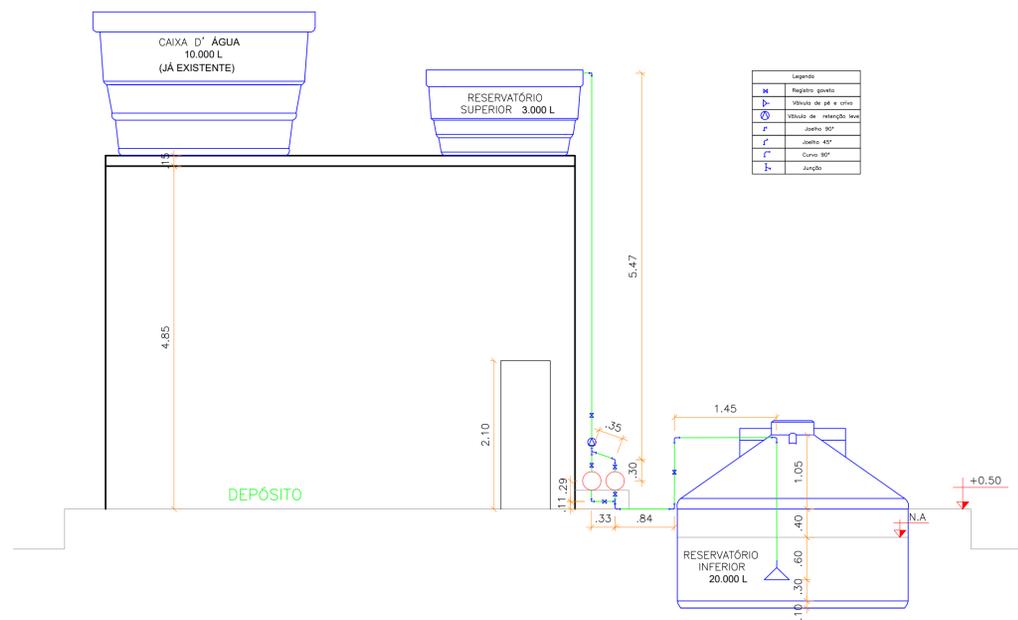
DATA: 04/02/2019

ESCALA: 1:100

**APÊNDICE E – PROPOSTA ESCOLHIDA PARA A DISPOSIÇÃO DAS CALHAS
E DESCIDA DE ÁGUA PARA OS CONDUTORES VERTICIAS, ESQUEMA
ISOMÉTRICO DO SISTEMA ELEVATÓRIO E PROPOSTA PARA DISPOSIÇÃO
DOS CONDUTORES HORIZONTAIS E VERTICAIS**

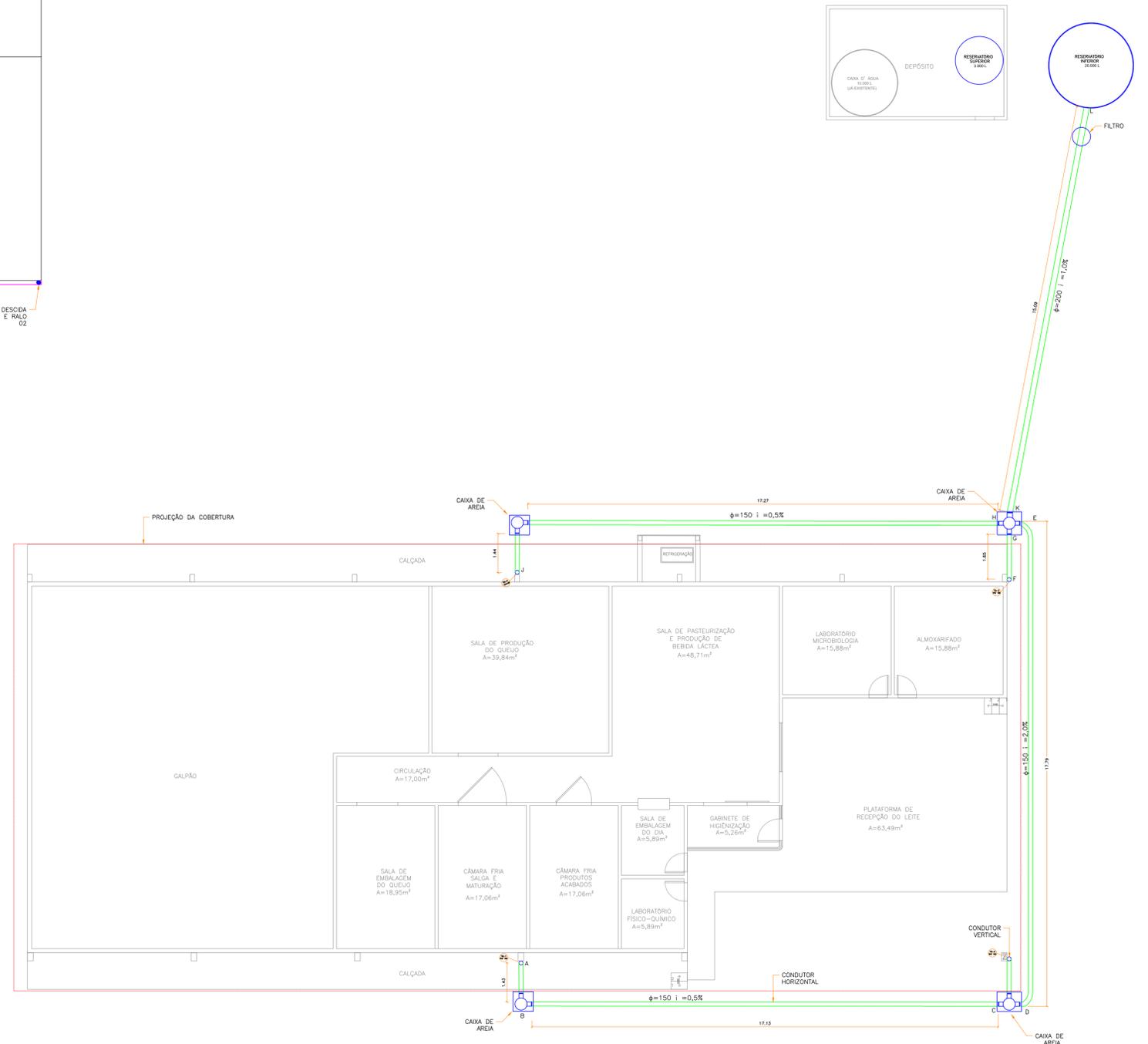


1 ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO E CALHAS
ESCALA 1:100



Legenda	
⊠	Registro sanitário
⊡	Válvula de pé e viras
⊢	Válvula de retenção leve
⊣	Joelho 90°
⊤	Joelho 45°
⊥	Curva 90°
⊦	Junção

2 ESQUEMA ISOMÉTRICO - SISTEMA ELEVATÓRIO
ESCALA 1:50



3 CONDUTORES HORIZONTAIS E VERTICAIS
ESCALA 1:100

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CAMPUS BALSAS

TÍTULO: PROPOSTA DE SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL
 RESPONSÁVEL TÉCNICO: PRÓPRIO AUTOR
 CLIENTE: INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS
 ASSUNTO: ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO E CALHAS, ESQUEMA ISOMÉTRICO DO SISTEMA ELEVATÓRIO E DISPOSIÇÃO DOS CONDUTORES VERTICAIS E HORIZONTAIS
 DATA: 04/02/2019

FOLHA: **01**
ESCALA: INDICADA NO DESENHO