UFPB UEPB UERN UESC UFAL UFSE UFRN UFS UFPI

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA / UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PROGRAMA REGIONAL DE PÓS -GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

LUAM DE OLIVEIRA SANTOS

ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS INDUSTRIAIS POR ÁGUA DE CHUVA: UMA ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

PRODEMA

João Pessoa-PB
2016

LUAM DE OLIVEIRA SANTOS

ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS INDUSTRIAIS POR ÁGUA DE CHUVA: UMA ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba, e Instituto Federal de Sergipe em cumprimento às exigências para obtenção de grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Williame Farias Ribeiro
Co-orientador: Prof. Dr. Silvanito Alves Barbosa

João Pessoa – PB
2016

S237a Santos, Luam de Oliveira.
Alimentação de caldeiras industriais por água de chuva: uma análise da viabilidade técnica e econômica / Luam de Oliveira Santos.- João Pessoa, 2016.
154 f. : il.-

Orientador: Profº. Drº. Williame Farias Ribeiro.
Coorientador: Profº. Drº. Silvanito Alves Barbosa.
Dissertação (Mestrado) – IFS/UFPB

1. Meio Ambiente. 2. Água da Chuva – Aproveitamento. 3. Análise Econômica. 4. Análise Técnica. 5. Caldeira - Alimentação. I. Título.

UFPB/BC CDU – 502(043)

LUAM DE OLIVEIRA SANTOS

ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS INDUSTRIAIS POR ÁGUA DE CHUVA: UMA ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba, e Instituto Federal de Sergipe em cumprimento às exigências para obtenção de grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof. Dr. Williame Farias Ribeiro - UFPB
(Orientador)

_____
Profª Dra. Ruth Sales Gama de Andrade
(Examinador Interno)

_____
Profª. Dra. Nataly Albuquerque dos Santos- UFPB
(Examinador Interno)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me permitiu estar contribuindo para a sociedade, desempenhando meu papel de cidadão e engenheiro, buscando soluções que contribuam com o desenvolvimento sustentável.

A minha família, que estiveram a todo o momento ao meu lado ao longo de toda minha carreira profissional e acadêmica, depositando em mim toda a sua confiança, aos estar retribuindo.

Agradeço ao meu orientador, que contribuiu com a realização deste trabalho, me dando orientações, conselhos, tirando minhas dúvidas nos momentos que eu mais precisei.

Ao meu co-orientador, que me abriu as portas do laboratório multidisciplinar do IFS Campus Aracaju, onde realizei a maior parte das análises, além de me ensinar as técnicas de análise presentes nessa dissertação e a manipulação adequada dos equipamentos do laboratório.

Agradeço a minha esposa, pela paciência nos momentos de estresses devido a conciliação entre trabalho e mestrado e por ter contribuído na elaboração dessa dissertação com opiniões e correções.

Agradeço as instituições IFS e UFPB, por ter firmado essa parceria tão importante que contribui com a qualificação de seus colaboradores e formam cidadãos mais preocupados com a sociedade e o ambiente. Isso demonstra a preocupação desse Instituto com a qualidade de seus profissionais e com a sociedade como um todo.

“Há dentro de nós uma chama sagrada coberta pelas cinzas do consumismo, da busca de bens materiais, de uma vida distraída das coisas essenciais. É preciso remover tais cinzas e despertar a chama sagrada. E então irradiaremos. Seremos como um sol”.

Leonardo Boff

RESUMO

A água pode ser considerada como um fator de limitação para o desenvolvimento industrial. No Brasil, por exemplo, teve-se a cultura do país no mundo com mais disponibilidade de água doce e por isso não aprendemos como gerir nossa água adequadamente. Esse mau gerenciamento pode comprometer a sua qualidade, gastando-se ainda mais com tratamentos, como floculação, abrandamento, desmineralização e filtragem ativa. A água da chuva pode ser considerada como uma ótima fonte alternativa, uma vez que sua captação e armazenamento proporciona água de boa qualidade para a indústria e ainda previne cheias. Um dos equipamentos que mais consomem água na indústria são as caldeiras, além disso, a qualidade da água para caldeira exige cuidados bastantes especiais que fazem com que a água da chuva seja uma boa solução. Os parâmetros que foram avaliados para a qualidade da água nesse trabalho foram: Turbidez, Dureza Total, Oxigênio Dissolvido, Dureza de Cálcio, Condutividade Elétrica, Dureza de Magnésio, Sólidos Totais Dissolvidos, Acidez Total, pH, Alcalinidade, Cloretos e Ferro Total. Foram utilizados os métodos potenciométricos, volumetria de neutralização, titulação por complexação, e instrumentais. A viabilidade econômica foi feita com os dados coletados em uma indústria alimentícia de grande porte, presente no estado de Sergipe e utilizando os modelos de fluxo de caixa descontado, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e período de payback descontado. Os resultados obtidos de forma geral, mostram nas águas pluviais uma fonte alternativa de alta qualidade e que reduz os custos com tratamentos para água industrial. Mostram também que a água captada pelo método direto apresenta maior pureza que a captada pelo método indireto e no geral ambas têm parâmetros abaixo do limite recomendado para uso em caldeiras precisando apenas de alguns tratamentos preliminares. A análise econômica mostra ser um método viável num período estimado em 20 anos. Este estudo visa contribuir com a redução do consumo de águas fluviais, que são de alto potencial potável, e aumentar o uso de água pluvial que tem ótima qualidade para indústria e baixo potencial para consumo humano.

Palavras-chave: Água, Análise, Caldeira, Chuva.

ABSTRACT

The water can be considered as a limiting factor for the industrial development. In Brazil, for example, there was the culture of we are the country in the world with more availability of potable water and we not learn how to manage our water properly. This mismanagement can compromise their quality, spending much more with treatments such as flocculation, softening, demineralization and active filtering. Rainwater can be considered a great alternative source, because their capture and storage provides good quality water for industry and also prevents flooding. One of the equipaments that consume more water in industry is the boilers, in addition, the quality of the water to the boiler's feed requires special care and this make the rain water a good solution. The parameters that were evaluated for the water quality in this work were: Turbidity, Total Hardness, Dissolved Oxygen, Hardness Calcium, Electrical Conductivity, Hardness Magnesium, Total Dissolved Solids, Total Acidity, pH, alkalinity, chlorides and Total iron. The potentiometric methods, volumetrics of neutralization titration by complexation, and instruments were used. The economic viability was done with data collected in a big food industry, present in the state of Sergipe and was used the models of discounted cash flow, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Payback Period Discounted. The results obtained in general, show in the rainwater an alternative source of high quality and that can reduce the costs with treatments for industrial water. They also show that the water captured by the direct method presents greater purity than that captured by the indirect method and in general both have parameters below the recommended limit for use in boilers, needing only some preliminary treatments. Economic analysis shows that it is a viable method over an estimated 20-year period. This study aims to contribute to the reduction of consumption of fluvial waters, which are of high drinking potential, and to increase the use of rainwater that has excellent quality for industry and low potential for human consumption.

Keywords: Water, analysis, boiler, Rain.

Lista de Siglas

°C (graus Celsius): Unidade de Temperatura

ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental)

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)

Ag2CrO4 (Cromato de Prata)

AgCl (Cloreto de Prata)

$AgNO_3$ (Nitrato de Prata)

ANA (Agência Nacional de Águas)

ASME (Associação Americana dos Engenheiros Mecânicos)

B/C (relação Benefício Custo)

Ba (Bário)

BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa)

Ca (Cálcio)

$CaCO_3$ (Carbonato de Cálcio)

Cagepa (Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba)

Cl (Cloro)

CO_2 (Dióxido de Carbono)

COHIDRO (Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe)

DESO (Companhia de Saneamento de Sergipe)

DFC (Modelo de Desconto de Fluxo de Caixa)

E (Diferença de potencial)

EDTA (ácido etilenodiaminotetracético)

EG (Eduardo Gomes)

ETA (Estação de Tratamento de Agua)

$Fe(HCO_3)_2$ (Bicarbonato de Ferro)

H (Hidrogênio)

HCl (Ácido Clorídrico)

I (intensidade da corrente)

IFS (Instituto Federal de Sergipe)

INMET (Instituto Nacional de Metrologia)

ITP (Instituto de Tecnologia e Pesquisa)

K_2CrO_4 (cromato de potássio)

Km^3 (quilômetros cúbicos): Unidade de Volume

L/m^2 (litros por metro quadrado): unidade de velocidade

m^3/ano (metros cúbicos por ano): Unidade de Vazão

m^3/s (metros cúbicos por segundo): Unidade de Vazão

Mg (Magnésio)

MTE (ministério de trabalho e emprego)

Na (Sódio)

NaCl (Cloreto de Sódio)

NaOH (Hidróxido de Sódio)

NBR (Normas Brasileiras de Regulamentação)

NH_3 (Hidróxido de Amônio)

NH_4Cl (Cloreto de Amônio)

NR (Normas Regulamentadoras)

NTU (unidades nefelométricas de turbidez): Unidade de Turbidez

OD (Oxigênio Dissolvido)

OH (Hidroxido)

OMS (Organização Mundial de Saúde)

ONU (Organização das Nações Unidas)

pH (Potencial Hidrogeniônico)

PPD (Período de Payback Descontado)

PRODEMA (Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente)

R (resistência elétrica)

S/cm (Siemens por centímetro): Unidade de Condutividade

SANASA (Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A)

SI (Sistema Internacional)

SiO_3^2 (silicato)

SM (Standard Methods)

STD (sólidos totais dissolvidos)

TIR (Taxa Interna de Retorno)

TMA (Taxa Mínima de Atratividade)

UNIT (Universidade Tiradentes)

uT (Unidades de Turbidez)

VPL (Valor Presente Líquido)

Lista de Figuras

Figura 1Distribuição de água no planeta. (Fonte: CAMPINAS. 2006).....24
Figura 2: Avaliação oferta e demanda 2015 e Mapa de obras previstas e cenário 2025. (Fonte: BRASIL, 2010). 27
Figura 3 Ciclo Hidrológico. (Fonte: BRASIL, 2007).....29
Figura 4: Esquema de aproveitamento de água da chuva. (Fonte: Tomaz, 2009).....37
Figura 5: Esquema do Ciclo de Rankine numa instalação de potência a vapor. (Fonte: MORAN e SHAPIRO, 2002). 42
Figura 6: Processo de clarificação. (Fonte: Trovati). 48
Figura 7: Processo de Abrandamento. (Fonte: Senai-SP, 2004). 50
Figura 8: Processo de Desmineralização. (Fonte: SENAI-SP, 2004).....51
Figura 9: Processo de Osmose Reversa. (Fonte: TROVATI, 2009). 52
Figura 10: Relação de ácido e alcalino em relação ao pH de uma solução. 61
Figura 11Esquema de funcionamento de um turbidímetro. (FONTE: PARRON, 2011).....69
Figura 12Esquema de funcionamento da titulação. (FONTE: PARRON, 2011). 70
Figura 13Esquema de funcionamento de um peagâmetro. (FONTE: PARRON, 2011).....71
Figura 14Esquema de funcionamento do Condutivímetro. (FONTE: PARRON, 2011). 72
Figura 15: Imagem aérea da Indústria de Alimentos situada no município de Lagarto / SE. (FONTE: GOOGLE, Maps). 74
Figura 16Imagem de Satélite da distância entre as cidades de Itabaianinha e Lagarto. (FONTE: GOOGLE, Earth). 76
Figura 17Esquema de Captação de água da chuva por calhas e telhados. (FONTE: Editora Amigos da Natureza, 2015). 77
Figura 18: Foto do condutivímetro utilizado. 85
Figura 19: Foto do peagâmetro digital utilizado. 86

Lista de Tabelas

Tabela 1Distribuição de água no planeta. (Fonte: CAMPINAS, 2006). 24
Tabela 2 Classificação da água em relação a dureza. 57
Tabela 3: Parâmetros de Qualidade Adotados para água de chuva. 78
Tabela 4: Tabela de Alcalinidades devido a hidróxidos, carbonatos ou bicarbonatos. 82
Tabela 5: Parâmetros da água da chuva coletada pelo método direto e indireto. 90
Tabela 6: Média Geral dos parâmetros da Qualidade das águas analisadas. 100
Tabela 7: Comparação com o resultado da chuva direto da atmosfera com outros autores. 102
Tabela 8: Comparação com o resultado da chuva indireta dos telhados com outros autores. 102
Tabela 9: Resultado da análise por ponto de coleta e por método coletado.. 104
Tabela 10: Resultado da análise por ponto de coleta e por método coletado e por época chuvosa e de pouca chuva. 107
Tabela 11: Comparação entre parâmetros da pesquisa com o de fabricantes e da norma ASME. 121
Tabela 12: Tabela para encontrar o volume do reservatório de armazenamento de água pluvial. 124
Tabela 13: Tabela para encontrar a economia com a instalação do sistema de captação de água pluvial. 125
Tabela 14: Tabela com fluxo de caixa simples e descontado, VPL, TIR e Payback. 127

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Gráfico da média mensal da precipitação em Itabaianinha em 11 anos (FONTE: BDMEP/INMET, 2016). 89
Gráfico 2: Média Anual de precipitação da cidade de Itabaianinha. (FONTE: BDMEP/INMET, 2016). 89
Gráfico 3: Relação do pH pelo método Direto e Indireto.....92
Gráfico 4: Relação da alcalinidade pelo método Direto e Indireto. 93
Gráfico 5: Relação da acidez total pelo método Direto e Indireto. 93
Gráfico 6: Relação da condutividade pelo método Direto e Indireto. 94
Gráfico 7: Relação dos STD pelo método Direto e Indireto. 95
Gráfico 8: Relação dos Dureza Total pelo método Direto e Indireto. 95
Gráfico 9: Relação dos Dureza de cálcio pelo método Direto e Indireto. 96
Gráfico 10: Relação dos Dureza de magnésio pelo método Direto e Indireto. 97
Gráfico 11: Relação dos cloretos pelo método Direto e Indireto. 97
Gráfico 12: Relação da turbidez pelo método Direto e Indireto.....98
Gráfico 13: Relação do oxigênio dissolvido pelo método Direto e Indireto. 99
Gráfico 14: Relação do pH pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva. ..109
Gráfico 15: Relação do pH pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva. 110
Gráfico 16: Relação da alcalinidade pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.....110
Gráfico 17: Relação da alcalinidade pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.....111
Gráfico 18: Relação da acidez total pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.....112
Gráfico 19: Relação da acidez total pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.....112
Gráfico 20: Relação da condutividade pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.....113
Gráfico 21: Relação da condutividade pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.....113

Gráfico 22: Relação dos sólidos totais dissolvidos pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.....114
Gráfico 23: Relação dos sólidos totais dissolvidos pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.....114
Gráfico 24: Relação da dureza total pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.....115
Gráfico 25: Relação da dureza total pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.....115
Gráfico 26: Relação da dureza de cálcio pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.....116
Gráfico 27: Relação da dureza de cálcio pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.....116
Gráfico 28: Relação da dureza de magnésio pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.....117
Gráfico 29: Relação da dureza de magnésio pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.....117
Gráfico 30: Relação dos cloretos pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.....118
Gráfico 31: Relação dos cloretos pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.....118
Gráfico 32: Relação da turbidez pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva. 119
Gráfico 33: Relação da turbidez pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.....119
Gráfico 34: Relação do oxigênio dissolvido pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.....120
Gráfico 35: Relação do oxigênio dissolvido pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.....120
Gráfico 36: Comparação dos dados desta pesquisa, água bruta da indústria, água após o tratamento e as recomendações dos fabricantes e da ASME.....122

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 19
OBJETIVOS 20
OBJETIVO GERAL 20
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 20
JUSTIFICATIVA 20
DELIMITAÇÃO DO TRABALHO 22
ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO 22
CAPÍTULO I 23
CONCEITOS E FUNDAMENTOS TEÓRICOS 23
1.1 O CONTEXTO HIDROLÓGICO – ASPECTOS GERAIS 23
1.2 O CONTEXTO HIDROLÓGICO EM SERGIPE 26
1.3 CICLO HIDROLÓGICO 28
1.3.1 Ciclo Hidrológico no Nordeste Brasileiro 30
1.3.2 Ciclo Hidrológico – usos para a água da chuva e reusos da água 30
1.4 ASPECTOS LEGAIS DO USO DA ÁGUA DA CHUVA NO BRASIL 32
1.5 MÉTODOS DE CAPTAÇÁO DA ÁGUA DA CHUVA 33
1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 38
CAPÍTULO II 39
USO DA ÁGUA PARA ALIMENTAR CALDEIRAS 39
2.1 A CALDEIRA 39
2.2 TIPOS DE CALDEIRAS 39
2.2.1 FLAMOTUBULAR 40
2.2.2 AQUOTUBULAR 40
2.2.3 ELÉTRICAS 41
2.3 FUNCIONAMENTO DAS CALDEIRAS 41
2.4 LEGISLAÇÃO 43
2.5 A INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA NO BOM FUNCIONAMENTO DAS CALDEIRAS 43
2.6 TRATAMENTOS DA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS 47
2.6.1 Tratamentos Externos 47

2.6.2 Tratamentos internos 53
2.7 ANÁLISES DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS INDUSTRIAIS 54
2.7.1 Dureza 56
2.7.2 Acidez Total e Acidez Carbônica 57
2.7.3 Alcalinidade Total e Parcial (Bicarbonato) 57
2.7.4 Cloretos 58
2.7.5 Ferro Total 58
2.7.6 Turbidez 59
2.7.7 Oxigênio Dissolvido 60
2.7.8 Condutividade Elétrica 60
2.7.9 Sólidos Totais Dissolvidos 61
2.7.10 Potencial Hidrogêniônico 61
2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS 62
CAPÍTULO III 63
Viabilidade Econômica e Técnica 63
3.1 VIABILIDADE ECONÔMICA 63
3.1.1 Métodos de Avaliação de Investimento e Retorno 63
3.1.2 Modelo de Desconto de Fluxo de Caixa 64
3.1.3 Fluxo de Caixa 64
3.1.4 Valor Presente Líquido (VPL) 65
3.1.5 Taxa Interna de Retorno (TIR) 65
3.1.6 Relação Benefício-Custo 66
3.1.7 Período de Payback Descontado (PPD) 66
3.2 VIABILIDADE TÉCNICA 67
3.2.1 Métodos Analíticos para análises da qualidade da água 67
3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS 72
CAPÍTULO IV 74
MATERIAIS E MÉTODOS 74
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO 74
4.2 METODOLOGIA APLICADA 75
4.2.1 Aquisição e análise quantitativa de dados pluviométricos 75

4.2.2 Sistemas de captação da água da chuva....76
4.2.3 Métodos de coleta e Pontos de coleta para análise qualitativa da água da chuva 77
4.2.4 Parâmetros Qualitativos para a análises da água coletada....78
4.2.5 Análises Estatísticas dos Dados....86
4.2.6 Comparação dos Dados....87
4.2.7 Análise da Viabilidade Econômica....87
4.2.8 Análise da Viabilidade Técnica e Sustentável....88
CAPÍTULO V....89
RESULTADOS E DISCUSSÕES....89
5.1 RESULTADO DA ANÁLISE QUANTITATIVA DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS....89
5.2 RESULTADO DA ANÁLISE DOS SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA....90
5.2.1 pH....92
5.2.2 Alcalinidade....93
5.2.3 Acidez Total....93
5.2.4 Condutividade....94
5.2.5 Sólidos Totais Dissolvidos....95
5.2.6 Dureza Total, de Cálcio e de Magnésio....95
5.2.7 Cloretos....97
5.2.8 Ferro Total....98
5.2.9 Turbidez....98
5.2.10 Oxigênio Dissolvido....99
5.2.11 Disposições Gerais....99
5.3 RESULTADOS QUANTITATIVOS DOS PARÂMETROS DA ÁGUA DA CHUVA....100
5.4 RESULTADO DA COMPARAÇÃO DOS DADOS....121
5.5 RESULTADO DA VIABILIDADE ECONÔMICA....123
CAPÍTULO VI....129
CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES....129
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS....129

6.2 PROPOSTAS FUTURAS.....130
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 131
APÊNDICE 140
APÊNDICE A 141
RESULTADOS DAS ANÁLISES DE TODAS AS AMOSTRAS COLETADAS 141
ANEXO A 146
DADOS C OMPLETOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA CIDADE DE ITABAIANINHA - SERGIPE 146
ANEXO B 151
CERTIFICADO DE PREMIAÇÃO DE TRABALHO APRESENTADO NO 2º CONGRESSO INTERNACIONAL RESAG 2015.....151
ANEXO C 153
ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA INTERFACES CIENTÍFICAS – SAÚDE E AMBIENTE – ISSN: 2316-3798 153

INTRODUÇÃO

Diante dos problemas atuais vivenciados por grandes centros industriais como a cidade de São Paulo, vimos que a escassez de água é um dos maiores problemas do mundo moderno. Em função do acelerado crescimento urbano populacional desses polos geradores, cresce a necessidade da utilização de técnicas sustentáveis visando suprir a escassez de água e/ou melhor aproveitá-la. Durante muitos anos tivemos a mentalidade que solução para este problema estava na gestão da oferta, aumentando a extensão das redes de abastecimento e distribuição. Buscando-se a água em locais menos explorados, tornando-se um produto cada vez mais caro de ser distribuído.

O meio ambiente, a água e a energia são temas com ampla abrangência nos meios acadêmicos e econômicos, existem grandes preocupações da sociedade em relação à conservação dos recursos da natureza, em especial ao uso racional e aproveitamento da água, recurso indispensável à vida.

Nesse contexto, fontes alternativas são apresentadas como solução para o aproveitamento da água para uso não-potável, em destaque a captação e o aproveitamento de água da chuva (precipitação atmosférica), indicada como fonte renovável de energia para alimentar caldeiras industriais. Para isso, se faz necessário realizar estudo de viabilidade técnica e econômica para averiguar métodos de captação e avaliação da qualidade da água para esse fim.

As caldeiras são equipamentos que utilizam a água para a geração de vapor. Este vapor é bastante utilizado em indústrias como matéria prima ou energia. Como a caldeira utiliza a água como principal matéria prima, pressupõe-se que a utilização da água da chuva iria reduzir bastante a utilização das águas fluviais, deixando-as mais disponíveis para o consumo humano.

No sentido de que seja possível a redução do uso de águas fluviais pelas indústrias, pretende-se com este estudo testar as seguintes hipóteses:

- A água da chuva é adequada para o uso direto em caldeiras industriais?
- Não sendo adequada para uso direto em caldeiras, tratamentos corretivos podem ser empregados para torná-la adequada?

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Estudar a viabilidade técnica e econômica da captação da água da chuva, bem como seu tratamento, para posterior alimentação de caldeiras em indústrias do estado de Sergipe.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar dados pluviométricos através de registros na estação meteorológica do estado;
- Estudar os métodos de captação e aproveitamento de águas pluviais e selecionar o mais adequado para o uso em caldeiras;
- Analisar a qualidade da água da chuva;
- Identificar os melhores métodos de tratamento de águas pluviais, bem como verificar a viabilidade técnica e econômica para alimentação de caldeiras industriais, incluindo uma proposta de projeto de captação e aproveitamento da água da chuva para uma dessas indústrias.

JUSTIFICATIVA

A água pode ser considerada como um fator de limitação para o desenvolvimento industrial. No Brasil, por exemplo, teve-se a cultura de que era o país do mundo com mais disponibilidade de água doce e por isso não aprendemos como gerir nossa água adequadamente. Esse mau gerenciamento pode comprometer a sua qualidade, gastando-se ainda mais com tratamentos, como floculação, abrandamento, desmineralização e filtragem ativa.

Devido a esses conflitos relacionados aos recursos hídricos, é necessário ter sempre ao alcance novas fontes para complementar a reduzida disponibilidade hídrica ou até substituí-la temporariamente, quando necessário.

Segundo Gonçalves (2006) “A busca por novas fontes de abastecimento de água torna-se urgente em todo o planeta, devido à crescente ocupação territorial e o vertiginoso crescimento populacional de centros urbanos”.

De acordo com o professor Fendrich (2002) “Uma fonte alternativa de água é o aproveitamento das águas de chuva, as quais, uma vez captadas e armazenadas, podem, ainda, prevenir cheias”.

Valle (2005), destaca que a água que é coletada em telhados é utilizada atualmente para fins não potáveis, como em descarga de banheiros, lavagem de carros, varandas, regar jardins, contribuindo na redução do uso de água tratada que seria própria para o consumo humano. Porém, é na indústria que essa água pode ter um valor ainda maior em potencial, tendo em vista que com o uso do tratamento adequado ela pode ser utilizada para os diversos fins, entre eles na alimentação de caldeiras.

No caso da caldeira em especial, que é o objeto deste estudo, é necessária a análise de algumas propriedades da água de alimentação, tais como: Ph; Dureza; Sílica solúvel; Óxidos metálicos; Substâncias inorgânicas; Material orgânico; Materiais em suspensão e Gases dissolvidos.

Segundo o Buckman (1997), a água ideal para utilizar em caldeiras deve ter as seguintes características: Menor quantidade possível de sais e óxidos dissolvidos; Ausência de oxigênio e outros gases dissolvidos; Isenta de materiais em suspensão; Ausência de materiais orgânicos; Temperatura elevada; pH adequado (faixa alcalina).

Buckman (1997) ainda diz que “a alimentação de água de boa qualidade elimina, antecipadamente, grande parte dos problemas que normalmente ocorrem em geradores de vapor”.

Diante de tais justificativas foi visto a necessidade de estudar a captação da água da chuva, tratamento adequado e viabilidade para o seu uso para alimentação de caldeiras industriais, evitando assim o consumo da água de rios e distribuídas por concessionárias, ajudando ainda na redução do valor conta de água.

DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O estudo foi realizado em uma empresa do setor de alimentos, localizada no estado de Sergipe, através da parceria firmada entre o Instituto Federal de Sergipe e a Universidade Federal da Paraíba por meio do mestrado interinstitucional associado à rede PRODEMA.

ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação é composta por seis capítulos. O primeiro capítulo é dedicado exclusivamente a revisão bibliográfica a respeito da água, para estabelecer os conceitos e fundamentos teóricos que servirão de guia para a pesquisa. Neste capítulo contextualizam-se a questão da água no mundo, no Brasil e em Sergipe, ciclo hidrológico, usos da água da chuva e métodos de captação da água e análises da água. Seguindo a mesma linha do primeiro capítulo, o segundo irá dedicar-se ao uso da água para alimentar caldeiras, para isso dar-se-á uma explanação detalhada sobre caldeiras, a influência na água para o bom funcionamento das caldeiras e tratamentos de água. Ainda na parte de fundamentação teórica, o terceiro capítulo é dedicado a divisão econômica e técnica da dissertação, onde explicar-se-á a viabilidade econômica, através de métodos como taxa interna de retorno, valor presente líquido, e a viabilidade técnica explicando a metodologia para análise da qualidade da água e como será feito o projeto para a captação e armazenamento da água da chuva. O capítulo quatro discorre a respeito dos materiais e métodos utilizados na pesquisa, enquanto o capítulo cinco aborda os resultados e as discussões obtidas através da metodologia utilizada. Para finalizar o capítulo seis irá tratar das considerações finais e propostas futuras.

CAPÍTULO I

CONCEITOS E FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Este capítulo é dedicado exclusivamente a revisão bibliográfica a respeito da água, para estabelecer os conceitos e fundamentos teóricos que servirão de guia para a pesquisa. Neste capítulo contextualizam-se a questão da água no mundo, no Brasil e em Sergipe, ciclo hidrológico, usos da água da chuva e métodos de captação da água e análises da água.

Este capítulo também tem a intenção de mostrar aos leitores a importância do conhecimento da problemática da água no mundo, mesmo no Brasil, onde é o país com maior disponibilidade de água.

Mostrando como a água vem sendo utilizada e desperdiçada e como isso afeta no ciclo hidrológico e na vida como um todo.

1.1 O CONTEXTO HIDROLÓGICO – ASPECTOS GERAIS

A ONU no dia 28 de julho de 2010, aprovou esta resolução: "a água potável e segura e o saneamento básico constituem um direito humano essencial". Mas, independentemente desta resolução, pode-se afirmar que a água é um bem natural, comum, indispensável e principalmente insubstituível à vida. É impossível haver vida sem a presença de água. Porém, mesmo com todas essas afirmações indiscutíveis os dados a respeito da água no planeta são alarmantes. (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2015).

Os autores ainda dizem que entre o 100% total de água existente no planeta; 97,5% das águas dos mares e dos oceanos são salgadas. Somente 2,5% são doces. Mais de 2/3 dessas águas doces encontram-se nas calotas polares e geleiras e no cume das montanhas (68,9%); quase todo o restante (29,9%) são águas subterrâneas. Sobram 0,9% nos pântanos e apenas 0,3% nos rios e lagos. Destes 0,3%, 70% se destina à irrigação na agricultura, 20% à indústria e restam apenas 10% destes 0,3% para uso humano e animais. (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2015).

A SANASA Campinas (Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A), mostra em seu site uma tabela com o valor em percentual da distribuição de água no mundo.

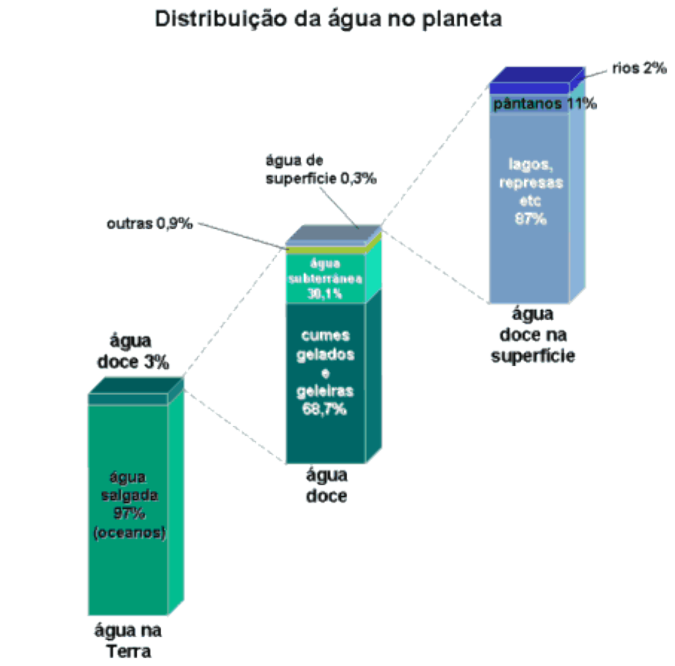


Figura 1Distribuição de água no planeta. (Fonte: CAMPINAS. 2006)

Tabela 1: Distribuição de água no planeta.

Fonte de água	Volume de água (km³)	Percentual de água doce	Percentual do total de água
Oceanos e mares	1.338.000.000	--	96,5
Cumes nevados, glaciares e neves permanentes	24.064.000	68,7	1,74
Água no solo	23.400.000	--	1,7
doce	10.530.000	30,1	0,76
salgada	12.870.000	--	0,94
Umidade do solo	16.500	0,05	0,001
Gelo no solo	300.000	0,86	0,022
Lagos	176.400	--	0,013
doce	91.000	0,26	0,007
salgada	85.400	--	0,006
Atmosfera	12.900	0,04	0,001
Água em pântanos	11.470	0,03	0,0008
Rios	2.120	0,006	0,0002
Água Biológica	1.120	0,003	0,0001
Total	**1.386.000.000**	-	**100**

Fonte: CAMPINAS, 2006.

Além dessa baixa disponibilidade de água potável, a Organização das Nações Unidas apresenta alguns dados que merecem nossa preocupação. (ONU, 2012):

- Aproximadamente 1,6 bilhões de pessoas vivem em regiões de escassez;
- Doenças de veiculação hídrica são responsáveis por 2,2 milhões de mortes a cada ano;
- Dois terços da população mundial poderão sofrer com escassez de água até 2025, se mantido o padrão de consumo e poluição;
- A previsão é que apenas um quarto da humanidade terá água para suprir suas necessidades básicas até 2050.

No Brasil, segundo Gomes (2009), temos aproximadamente 12% da reserva hídrica do Planeta, com disponibilidade de 182.633 m^3/s. Porém, refletindo o problema mundial, a distribuição desse recurso é bastante desigual, de forma que, a região amazônica, que corresponde as mais baixas concentrações populacionais, concentra 72% da água, enquanto o Sul e Sudeste concentram 8%, o Nordeste 4% e o Centro-Oeste 16%, (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2015). Além disso, nós não sabemos gerir nossa água, pois, segundo os autores, o Brasil desperdiça 37% de sua água tratada, o que daria para abastecer toda a França, a Bélgica, a Suíça e norte da Itália. Para os autores, deve-se adotar um novo padrão cultural em relação a esse bem que está se tornando um artigo de luxo, (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2015). Cidades como Campina Grande, na Paraíba estão tendo que aprender de forma árdua a lidar com a economia e racionamento de água, tendo em vista que a partir de 1º de novembro de 2015 a Cagepa (Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba) ampliou o racionamento para 5 dias na semana, começando do sábado até a quarta-feira, e tendo que conviver com o medo do açude vir a secar. (GLOBO, 2015).

Barlow (2009), que afirma em seu livro, Água: pacto azul (2009): "A população global triplicou no século XX mas o consumo da água aumentou sete vezes. Em 2050 quando teremos 3 bilhões de pessoas a mais, necessitaremos de 80% a mais de água somente para o uso humano; e não sabemos de onde ela virá". Diante disto temos de realmente repensar como será a sobrevivência da espécie humana e dos demais seres vivos.

1.2 O CONTEXTO HIDROLÓGICO EM SERGIPE

Sergipe é um estado situado no nordeste brasileiro que possui 75 municípios com uma população média de 1,5 milhões de habitantes. A região metropolitana de Aracaju, a chamada "grande Aracaju", compreende 4 municípios, correspondendo a 53% da população Sergipana. A região Norte de Sergipe está inserida na região hidrográfica do São Francisco, enquanto o restante do estado encontra-se na região hidrográfica do Atlântico Leste.

A Agência Nacional de Águas (ANA) diz que a principal fonte de abastecimento do estado é o Rio São Francisco, tendo em vista que se excetuando essa fonte, os mananciais superficiais utilizados para o abastecimento público são de pequeno porte e em grande parte perene. (BRASIL, 2010)

Porém, é de suma importância salientar a utilização de mananciais subterrâneos em Sergipe, tendo em vista que estes compõem a oferta de água para abastecimento público em 38% das sedes municipais, sendo 27% abastecidas exclusivamente por poços e 11% de forma mista (superficial e subterrâneo). (BRASIL, 2010)

A empresa DESO (Companhia de Saneamento de Sergipe) é a responsável pelo abastecimento de 96% dos municípios. Apesar da predominância dos sistemas isolados (52% das sedes urbanas) os sistemas integrados (48%), correspondem ao atendimento de 75% da população. (BRASIL, 2010).

Logo a seguir temos uma figura com a avaliação da oferta/demanda das sedes urbanas de 2015 e também um mapa com as obras previstas e o cenário de 2025, estimando-se uma demanda total de 5,70 m^3/s em 2025, ultrapassando em 96,55% a capacidade total dos sistemas produtores da região metropolitana de Aracaju que é de 2,9 m^3/s.

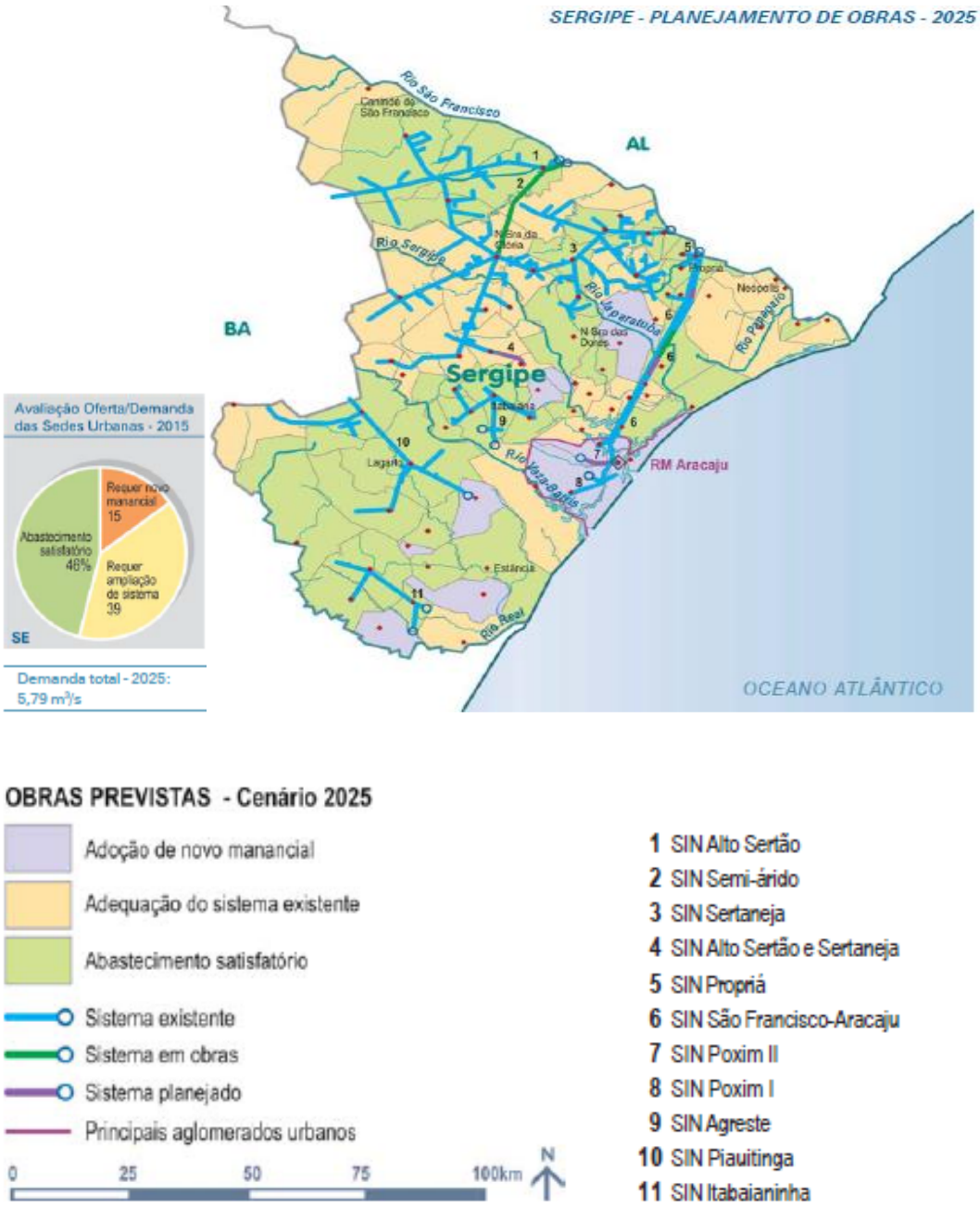


Figura 2: Avaliação oferta e demanda 2015 e Mapa de obras previstas e cenário 2025. (Fonte: BRASIL, 2010).

Apesar da situação de Sergipe ser relativamente favorável quando comparada com outros estados do Nordeste, temos que procurar também fontes de utilização de água que preservem as águas superficiais e os mananciais e principalmente evitar o desperdício.

Segundo a DESO, Sergipe tem um índice de desperdício próximo aos 50% de água potável. (GLOBO, 2015).

Dessa forma, tecnologias e políticas públicas devem ser adotadas para que se evite o desperdício e que se reduza o uso de água dos rios. Diante dessa perspectiva é que se encontra na utilização da água da chuva uma boa alternativa para uso em caldeiras industriais.

1.3 CICLO HIDROLÓGICO

Segundo Tundisi (2003), a principal característica de volume de água superficial é a mobilidade e instabilidade e diz que todos os componentes sólidos, líquidos e gasosos são parte do ciclo dinâmico da água. Porém é na fase líquida que se encontra sua maior importância para o homem, devido ao fato de nesta fase a água já estar pronta para o uso.

A energia térmica solar, a energia mecânica dos ventos e a energia gravitacional são os fatores que impulsionam o ciclo da água, cada qual com sua finalidade. (BRASIL, 2007).

A energia térmica solar permite a evaporação e evapotranspiração da água e consequentemente sua transformação da fase líquida na fase gasosa para que seja transformada em nuvens. (TUCCI, 2000).

A energia mecânica dos ventos é responsável por transportar vapor d'água para os continentes e entre os continentes. (TUNDISI, 2003).

A energia gravitacional é responsável pelos fenômenos de precipitação, infiltração e deslocamentos das massas de água. (FREIRE, 2005).

Dessa forma esse conjunto de energias, formam os principais componentes do ciclo hidrológico que são a evapotranspiração (evaporação e transpiração), a precipitação, a percolação, infiltração e drenagem. (TUNDISI, 2003).

A seguir tem-se uma figura esquemática do ciclo hidrológico.

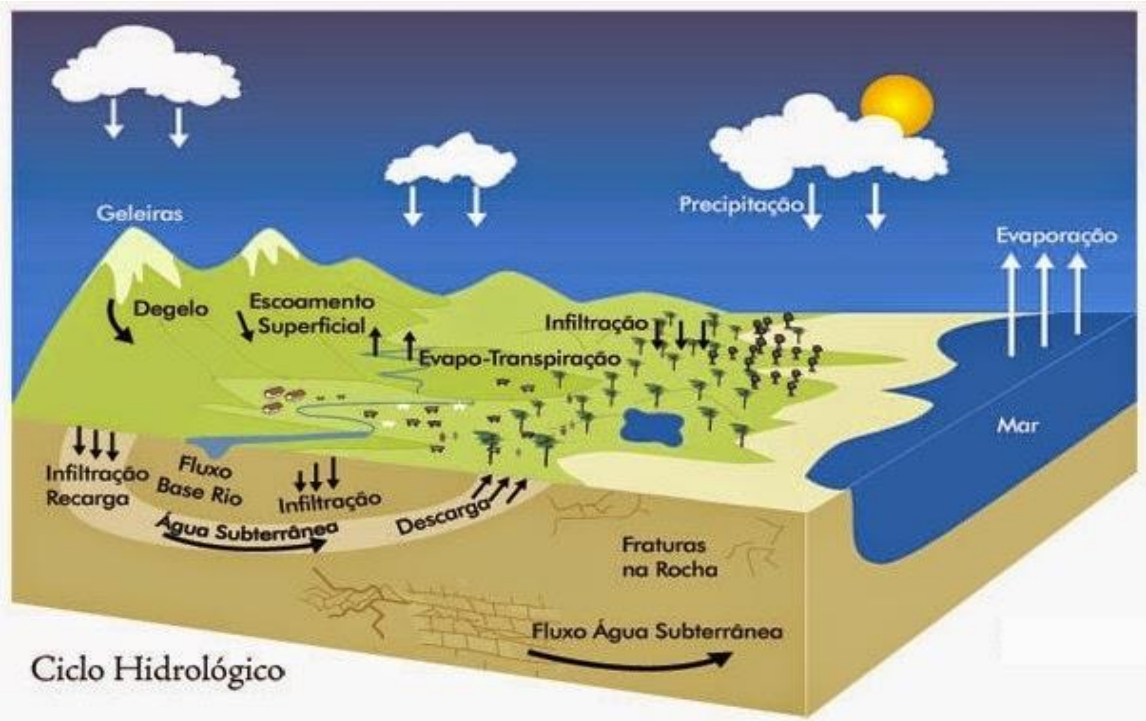


Figura 3 Ciclo Hidrológico. (Fonte: BRASIL, 2007).

Tundisi (2003) afirma que anualmente cerca de quarenta e sete mil quilômetros cúbicos (47.000 Km^3) de água retornam ao oceano derivado de rios, represas, lagos e águas subterrâneas. Caso toda essa drenagem fosse igualmente distribuída entre os continentes, teríamos uma quantidade de aproximadamente oito mil metros cúbicos de água por ano (8.000 m^3/ano) disponíveis para cada habitante do planeta, considerando a população de 6 bilhões habitantes. Porém, esta distribuição é desigual e não homogênea ao longo do ano, o que causa problemas de disponibilidade e desequilíbrio, desencadeando em ações diversas de gerenciamento hídrico para enfrentar essa escassez ou excesso de água.

Esta afirmação nos faz compreender a necessidade do gerenciamento correto dos recursos hídricos, da política pública no incentivo a redução no consumo e desperdício e melhor aproveitamento de água de drenagem, onde podemos ressaltar a importância na utilização da água da chuva como forma de evitar enchentes e reduzir a quantidade de água que corre para os oceanos, aproveitando-a principalmente na indústria, aumentando a disponibilidade da água corrente em superfície para a utilização pelos seres vivos que dela necessitam.

1.3.1 Ciclo Hidrológico no Nordeste Brasileiro

Segundo Rebouças (1997), a chuva representa a única fonte de realimentação da umidade do solo, dos rios e dos aquíferos da região Nordeste. Segundo o autor, o Nordeste está compreendido entre dois contextos hidrogeológicos distintos e de extensões quase iguais sendo eles: o domínio das rochas de substrato geológicos cristalinos Précambriano, que podem ser consideradas praticamente impermeáveis e subaflorantes; e o das rochas sedimentares, nas quais ocorrem grandes aquíferos que abrangem principalmente o Maranhão, 80% do Piauí e aproximadamente metade dos estados do Rio Grande do Norte e Bahia.

Os açudes têm uma grande importância no cenário hídrico nordestino e dessa forma, a solução hídrica no domínio de rochas cristalinas deve ser feita pelo uso eficiente dessas fontes. (REBOUÇAS, 1997).

Vieira (1994), destaca que a eficiência hidrológica dos açudes é estimada em apenas 1/5 (um quinto) do volume devido as altas taxas de perdas por evaporação.

Pode-se perceber que devido ao tipo de solo do Nordeste brasileiro a infiltração da água pluvial para o solo e o consequente acúmulo em aquíferos torna-se muito limitado, além disso temos essa infiltração comprometida também pelo crescimento das cidades e das impermeabilizações do solo, fazendo com que a utilização das águas de precipitações atmosféricas um recurso cada vez mais necessário.

1.3.2 Ciclo Hidrológico – usos para a água da chuva e reusos da água

Constantemente a humanidade depara-se com a situação onde a água com a qualidade requerida torna-se um bem escasso, nesses casos buscar-se-á novas formas de suprimento, assim como formas de reuso da água.

Desta forma nos últimos anos esse é um assunto com bastante enfoque no país devido principalmente à crise hídrica vivenciadas por grandes polos industriais como a cidade de São Paulo.

Para compreendermos melhor os usos da água de fontes alternativas e reuso da água será apresentado as classificações para os reuso em diferentes modalidades, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) lançado em 1973 (WHO, 1973).

- Reuso direto: é o uso planejado da água para o seu reaproveitamento em atividade como irrigação, industrial, injeção em aquíferos e até mesmo o consumo potável. Para isso, exige a implantação de tecnologias específicas para tratamento e adequação da qualidade do efluente à qualidade definida ao seu determinado uso.
- Reuso indireto: é o uso daquela água que já foi utilizada em alguma atividade humana, doméstico ou industrial e que será descartada nos corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, sendo utilizado novamente à jusante de forma diluída. Neste caso utiliza-se a autodepuração do corpo d'água, normalmente sem controle, para degradar os poluentes lançados com o esgoto in natura. Trata-se da forma de reuso mais difundida.
- Reciclagem interna: é o reuso da água em instalações internas, que visam principalmente a economia e controle da poluição. É constituído por um sistema de ciclo fechado onde a reposição de água por outras fontes deve-se às perdas no processo, manutenção e operações de tratamento.

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) define também como reuso potável direto e reuso potável indireto (KUBLER; FORTIN; MOLLETA, 2015).

- Reuso potável direto: ocorre quando o esgoto após ter sido recuperado pelo sistema de tratamento, é diretamente reutilizado no sistema de água potável.
- Reuso potável indireto: ocorre quando o esgoto, após o tratamento, é lançado nos corpos d'águas superficiais ou subterrâneos para diluição, purificação natural e posterior captação, tratamento e utilização como água potável. Compreende o esquema de tratamento do esgoto onde visa adequar a qualidade do efluente aos padrões de emissão e lançamento nos corpos hídricos.
- No que diz respeito ao uso de águas de precipitação atmosférica ela pode ser dividida em:
- Uso potável: este é o uso que após o tratamento adequado a água pode ser utilizada para o consumo humano;

- Uso não potável: este pode ser para os usos mais diversos, desde que não envolva o consumo. Ela pode ser tratada para uso industrial ou pode ser utilizada sem tratamento para atividades menos exigentes como usos domésticos e de limpeza que não envolvam o consumo humano.

1.4 ASPECTOS LEGAIS DO USO DA ÁGUA DA CHUVA NO BRASIL

Segundo Veloso e Mendes (2013), a legislação brasileira ainda é pouco atuante em relação ao aproveitamento de águas de precipitação atmosférica. Apesar de leis e proposições no âmbito federal, estadual e municipal estarem sendo desenvolvidas, ainda são necessárias ações mais contundentes nesse sentido, haja vista que segundo os autores há locais que a crise de abastecimento não seja um problema futuro e sim uma questão atual.

Os estados do país que estão à frente em relação a legislação sobre essa questão são os da região sul e sudeste, onde existem a propositura de vários projetos, demonstrando um avanço político pela causa do uso sustentável da água da chuva e preservação do recurso hídrico. No âmbito federal, verifica-se lentidão na conclusão e legalização de projetos de lei, falta mais empenho em estabelecer uma política pública nacional que incentive o uso sustentável da água, através da conservação dos recursos hídricos pelo uso e manejo da água da chuva, tal como é exigido pela lei das águas. (VELOSO e MENDES, 2013).

De forma geral, as principais iniciativas legais busca no uso de águas pluviais para fins não potáveis em locais como mercados municipais, postos de lavagem veicular, postos de combustível, indústrias, prédios comerciais, entre outros.

Falta legislação a respeito da obrigação do uso desse recurso em órgãos públicos, como escolas, pois, além de contribuir com uso sustentável de recurso hídrico, possibilitaria uma efetiva intervenção na educação ambiental e conscientização da comunidade escolar.

De acordo com as necessidades, percebe-se claramente uma divisão nos objetivos e estratégias de gestão dos recursos pluviais. Em áreas urbanas, o seu uso é principalmente para economia de água para fins não potáveis, enquanto em ambientes rurais, a utilização da água da chuva é uma alternativa, muitas vezes a única, de abastecimento de água potável para comunidades sem acesso a esse recurso, necessitando para isso de barreiras sanitárias eficazes.

Apesar da existência de NBR's que orientam o aproveitamento de águas pluviais em áreas urbanas como a NBR 15527-07, os autores indagam que apesar da evolução na legislação pautada em alguns critérios de sustentabilidade ambiental, verifica-se que faltam NBR's, que padronizem critérios técnicos envolvidos no uso potável, o que é um fator prejudicial à credibilidade de modelos. (VELOSO e MENDES, 2013).

1.5 MÉTODOS DE CAPTAÇÁO DA ÁGUA DA CHUVA

O aproveitamento de águas pluviais é uma prática muito antiga, desde o século IX a.C., quando o rei dos Moabitas deixa gravado na pedra a vontade da implantação de um reservatório para o aproveitamento da água da chuva em cada casa. Atualmente essa prática já está bastante difundida e vários países oferecem financiamentos para construção de áreas de captação de chuva (TORDO, 2004).

Apesar da indiscutível importância dos sistemas de reuso de água em todo o mundo, vários estudiosos consideram o uso da água da chuva para fins potáveis uma alternativa com riscos muito elevados e muitas vezes inaceitáveis, em decorrência de que as concentrações de poluentes na chuva variam bastante de acordo com vários fatores tornando-a muito perigosa para consumo. (TORDO, 2004).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou uma norma que orienta quanto ao aproveitamento de águas pluviais em áreas urbanas, é a NBR 15527-05 (Água da chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos), em seu escopo ela explica que esta norma se aplica a usos não potáveis, em que águas da chuva possa ser utilizada, após tratamento adequado, entre outras coisas em usos industriais.

Para Tomaz (2007), o aproveitamento de água da chuva não pode ser chamado de reuso de água da chuva nem de reaproveitamento, pois o termo reuso é usado quando a água já foi utilizada pelo homem anteriormente. Já o termo reaproveitamento é semelhante a reuso, significando que a água já foi utilizada em situações anteriores.

A ABNT (2007) traz através da norma NBR 15.527/07 em seu texto algumas outras definições que serão usadas nessa tese, são elas:

- 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;
- Coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de runoff (C): Coeficiente 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: É a média a ser utilizado para fins não potáveis num determinado tempo;
- Escoamento inicial (first flush): Água proveniente da área de captação, suficiente para carregar poeira, fuligem, folhas, galhos e detritos. Tomaz explica em seu artigo que é aconselhável que o escoamento inicial seja descartado, devido ao acúmulo de poeira, folhas e detritos acumulados em telhados após três dias de seca. Pesquisas mostram que o first flush varia de 0,4 L/m² a 8 L/m² de telhado de acordo com o local. Na falta de dados, sugere-se admitir um first flush no valor de 2 L/m² de área do telhado.
- Suprimento: Fonte alternativa de água para complementar o reservatório de água da chuva. (ABNT, 2007)

Em seu artigo Tomaz (2007) faz as seguintes definições e considerações adicionais:

- Reservatório Intermediário: É o local onde será armazenada a água da chuva que irá ser utilizada, sendo que é aconselhável que se a água da de chuva for clorada, deverá ficar no mínimo quinze minutos dentro do reservatório intermediário para o chamado "tempo de contato";
- Precipitações: O autor utiliza em seu artigo e aconselha que seja analisado as séries históricas e sintéticas das precipitações locais ou regionais médias mensais ou diárias num período de no mínimo dez anos. Ele ainda diz que os governos estaduais e federal possuem uma base de dados com informações confiáveis que podem ser usadas.

Uma atenção especial deve ser dada as **calhas e condutores** e nesse sentido a norma NBR 15.527/07 estabelece que:

- As calhas e condutores horizontais e verticais devem estar de acordo com à ABNT NBR 10844;
- Devem ser observados o período de retorno (Tr) escolhido, a vazão de projeto e a intensidade pluviométrica. Tomaz em seu artigo recomenda que seja usado um período de retorno igual a vinte e cinco anos para cidades acima de cem mil habitantes (Tr=25 anos) (TOMAZ, 2009). Ainda em relação ao período de retorno, o professor Ghisi o define como "número médio de anos em que, para a mesma duração de precipitação, uma determinada intensidade pluviométrica é igualada ou ultrapassada apenas uma vez" (GHISI & GUGEL, 2005).
- Devem ser utilizados dispositivos para remoção de detritos, podendo este ser grades, filtros ou telas que atendam à NBR 12.213;
- Pode ser instalado no sistema de aproveitamento da água pluvial, um sistema que descarte a água do escoamento inicial, podendo este ser manual ou automático, porém a norma recomenda que este dispositivo seja automático;
- Quando utilizado, este dispositivo de descarte da água deve ser dimensionado pelo projetista, mas a norma recomenda que na falta de dados, esse descarte seja de dois milímetros (2mm) da precipitação inicial, ou seja, dois litros por metros quadrados de telhado (2 l/m²).

A **vazão na calha** de acordo com a NBR 10844/89 pode ser encontrada através da equação:

$$Q = \frac{IxA}{60}$$

Sendo:

Q = Vazão de pico dada em (L/min.)

I = Intensidade Pluviométrica (mm/h)

A = Área de contribuição (m²)

O **dimensionamento da calha** segundo Tomas, pode ser realizado através da fórmula de Manning:

$$Q = 60000x\left(\frac{A}{n}\right)xR^{\frac{2}{3}}xS^{0,5}$$

Sendo:

Q = Vazão de pico dada em (l/min.)

A = Área da seção molhada (m²)

n = Coeficiente de rugosidade de Manning. Para concreto n=0,013 e para plástico n=0,011

R = Raio hidráulico = (A/P)

P = Perímetro molhado (m)

S = declividade da calha (m/m)

Segundo Tomaz (2009), para os **condutores horizontais** de seção circular, podem ser dimensionados usando a fórmula de Manning para seção máxima de altura 0,66D ou usar a tabela da ABNT e declividade mínima de 0,5% (0,005 m/m).

A NBR 12.527/07 fala que os **reservatórios** devem:

- atender à ABNT NBR 12.217;
- ser considerados no projeto: extravasor, dispositivo de esgotamento, cobertura, inspeção, ventilação e segurança;
- quando alimentado com água de outra fonte de suprimento de água potável, deve possuir dispositivos que impeçam a conexão cruzada;
- o volume de água de chuva aproveitável depende do coeficiente de escoamento superficial da cobertura, bem como da eficiência do sistema de descarte do escoamento inicial, sendo calculado pela seguinte equação:

$$V = PxAxCxn$$

Onde:

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

P = precipitação média anual, mensal ou diária;

A = área de coleta;

C = coeficiente de escoamento superficial da cobertura (runoff);

n (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.

- A água da chuva reservada deve ser protegida contra a incidência direta de luz solar e do calor, bem como de animais que possam adentrar o reservatório através da tubulação de extravasão. (ABNT, 2007).

O engenheiro consultor da ABNT, Tomaz (2009), faz algumas considerações entre elas:

- Os reservatórios ou cisternas podem ser enterrados, semi-enterrado, apoiado ou elevado. Podem ser construídas de concreto, alvenaria armada, materiais plásticos como polietileno, PVC, fibra de vidro e aço inox;
- O coeficiente de runoff (C) normalmente é considerado como C=0,95;
- A eficiência do sistema de escoamento inicial (first flush) ou descarte de filtros e telas variam de 0,50 a 0,90;
- Um valor prático quando não se tem dados a adotar é $Cxn = 0{,}80$.

Segue abaixo uma ilustração com o esquema de aproveitamento de água da chuva.

Figura 4: Esquema de aproveitamento de água da chuva. (Fonte: Tomaz, 2009).

Tomaz (2009) em seu artigo considera que os custos com a construção do reservatório com material, com a solução escolhido da deposição do reservatório e das condições locais, já inclusos os custos das calhas, condutores e bombas centrífugas variam entre US$ 150/m³ a US$ 200/m³ de água reservada. Podendo ser aplicada uma equação:

$$C = 336\,x\,V^{0,85}$$

Sendo:

C = custo do reservatório em dólares americanos (US$).

V = volume do reservatório em m³.

1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo foi destinado aos conceitos e fundamentos teóricos que serão necessários no decorrer deste trabalho, principalmente no que se diz respeito a água, águas pluviais e seu uso principalmente para fins não potáveis. Nele foi visto inicialmente o contexto hidrológico de modo geral, as crises hídricas no mundo, no Brasil e posteriormente no estado de Sergipe. Em seguida foi feita uma breve explicação a respeito do ciclo hidrológico e em seguida foi mostrado formas de usos para a água da chuva e reuso da água como forma primordial para a manutenção do ciclo hidrológico, e sustentabilidade no que diz respeito aos recursos hídricos.

Após ter sido visto as definições e usos da água de forma sustentável, através do reuso e do uso de águas pluviais, foi analisado os aspectos legais do uso da água da chuva no Brasil, desta forma foi verificado os avanços em termos legais da legislação brasileira a respeito do uso de águas pluviais, onde chegamos à conclusão que falta leis e normas que regulem o uso dessa fonte hídrica alternativa.

Por fim foi visto os métodos de captação da água da chuva através principalmente na norma brasileira NBR 12.527/07 que orienta o Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Vimos aí as definições e os requisitos necessários para a criação de um sistema de captação de água da chuva e no final vimos como fazer uma estimativa do custo da construção de um sistema de captação de águas pluviais para fins não potáveis.

Com este tópico final podemos dar prosseguimento ao próximo capítulo que vai tratar do uso da água para alimentar caldeiras, que não passa de um uso para fins não potáveis e, portanto, poderemos fazer uso da norma NBR 12.527 para construção do reservatório e essa água precisará passar por análises e posterior tratamento para enfim ser utilizada na caldeira, pois este equipamento tem exigências específicas na qualidade da água que serão discutidos nesse próximo capítulo.

CAPÍTULO II

USO DA ÁGUA PARA ALIMENTAR CALDEIRAS

Este capítulo é dedicado ao uso da água para alimentar caldeiras industriais, para tal, primeiro será explanado o que é uma caldeira, como se dá o deu funcionamento, quais os tipos de geradores de vapor mais utilizados na indústria, suas aplicações, legislação e normatização, e enfim mostrar a importância da qualidade da água no bum funcionamento das caldeiras, os tratamentos preliminares e secundários para utilizar-se da água na caldeiras e as análises efetuadas para garantir os parâmetros de qualidade da água.

2.1 A CALDEIRA

Segundo a norma regulamentadora de número treze (NR-13) do Ministério de Trabalho e Emprego (MTE) caldeira pode ser definido como sendo equipamentos projetados para produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, que utiliza uma fonte de energia, projetados conforme códigos pertinentes, executando-se refervedores e similares. (BRASIL, 2014).

De acordo com esta mesma norma, as caldeiras são classificadas em três categorias, sendo elas:

- Categoria A, são aquelas que operam a pressão igual ou superior a 1960 KPa (19,98 Kgf/cm²);
- Categoria C, são aquelas que operam a pressão igual ou inferior a 588 KPa (5,99 Kgf/cm²) e o volume interno é igual ou inferior a cem litros (100 l);
- Categoria B, são todas as outras caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores (MTE, 2014).

2.2 TIPOS DE CALDEIRAS

Existem três tipos de caldeiras, as flamotubulares, aquotubulares e elétricas, sendo que cada um desses tipos tem suas subdivisões.

2.2.1 FLAMOTUBULAR

As caldeiras flamotubulares ou fogotubulares (tubos de fogo) são aquelas em que as chamas e os gases quente provenientes da queima do combustível passam pelo interior dos tubos, transferindo calor à água que os envolve. São geralmente de construção mais simples, produz vapores de menor temperatura e trabalha com pressões relativamente menores. Elas podem ser classificadas de acordo com a disposição dos tubos como sendo horizontais ou verticais (SANTI & IORI, 2013).

Atualmente as industrias utilizam-se principalmente das caldeiras horizontais quando não há a necessidade da produção de vapor superaquecido nem pressões muito elevadas.

2.2.2 AQUOTUBULAR

Também chamada de caldeiras de tubos de água, nesse tipo os gases quentes provenientes da combustão envolvem os tubos por onde circula a água. Ela baseia-se no princípio da convecção natural a qual, um líquido quando aquecido, as partículas de maior temperatura aumentam seu volume e consequentemente reduz sua densidade, desse modo elas ficam mais leves e sobem, enquanto que as partículas frias, mais densas, descem, recebendo calor e tornando a subir posteriormente, formando um movimento contínuo, até que a água entre em ebulição (JOSEPH, 1991).

Este tipo de caldeira é normalmente utilizado quando se necessita de vapores superaquecidos e pressões de trabalho relativamente altas. Muito utilizadas em usinas de cana de açúcar e termoelétricas para que o vapor seja usado para girar uma turbina e a energia mecânica seja então transformada em energia elétricas através de um transformador e no fim das contas a energia térmica e mecânica do vapor e da turbina serão transformadas em energia elétrica que será utilizada em toda a usina e até vendida para concessionárias de energia elétrica.

2.2.3 ELÉTRICAS

É um equipamento cujo objetivo principal é transformar a energia elétrica em energia térmica, transmitindo-a desta forma para a água e enfim transforma-a do estado líquido para o estado gasoso sob forma de vapor. Onde os dois principais tipos de caldeiras elétricas são, de resistência e de eletrodo submerso.

O princípio de funcionamento da caldeira elétrica baseia-se no princípio de Joule onde a corrente, ao atravessar um condutor e encontrar resistência a sua passagem libera calor, esse calor liberado é utilizado para aquecer a água no interior da caldeira (BOTELHO & BIFANO, 2011).

2.3 FUNCIONAMENTO DAS CALDEIRAS

Para a compreensão do funcionamento da caldeira, devemos compreender o ciclo termodinâmico que compreende este equipamento e seu fluido de trabalho, necessitando também de manter a qualidade adequada da água para evitar avarias nos componentes desse sistema.

De forma sucinta, um sistema de geração de vapor pode ser compreendido como um ciclo termodinâmico de Rankine.

Segundo Moran e Shapiro (2002), o ciclo de Rankine pode ser explicado como sendo um ciclo termodinâmico reversível que converte a energia térmica proveniente do calor em trabalho. O calor é fornecido através de uma fonte externa (fornalha, queimador ou resistência elétrica) para a caldeira, a qual tem em seu interior o fluido de trabalho, geralmente água.

O ciclo de Rankine fechado é composto por: caldeira; turbina; condensador e bomba. Sendo a função de cada um explicado a seguir.

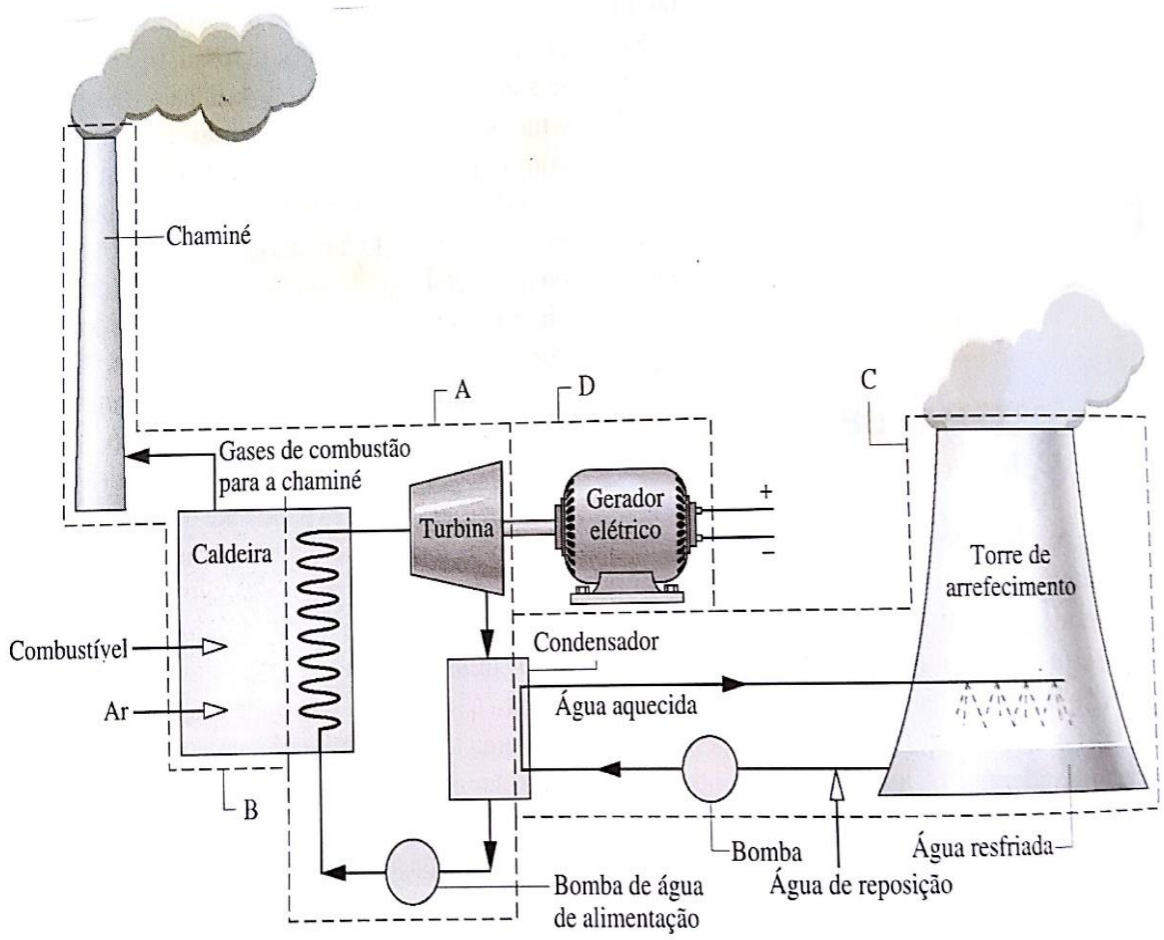
Turbina: O vapor proveniente da caldeira, com uma pressão e temperatura elevadas, expande-se através da turbina e produz trabalho sendo então descarregado no condensador, com pressão e temperaturas bem inferiores.

Condensador: No condensador há transferências de calor do vapor para a água de resfriamento escoando em uma corrente separada. O vapor é então condensado e a temperatura da água de resfriamento aumenta devido as trocas térmicas.

Bomba: O líquido condensado que deixa o condensador é então bombeado para dentro da caldeira a uma pressão mais elevada.

Caldeira: O fluido de trabalho completa um ciclo, quando o líquido que deixa a bomba, chamado de água de alimentação da caldeira, é aquecida até a saturação e evaporado na caldeira, completando finalmente o ciclo.

Abaixo segue uma imagem esquemática do ciclo Rankine para melhor entendimento. (MORAN e SHAPIRO, 2002).



Componentes de uma instalação de potência a vapor simples.

Figura 5: Esquema do Ciclo de Rankine numa instalação de potência a vapor. (Fonte: MORAN e SHAPIRO, 2002).

2.4 LEGISLAÇÃO

A legislação brasileira que normatiza tudo o que diz respeito a caldeiras, desde o projeto, até descarte do equipamento após sua vida útil, é a Norma Regulamentadora NR-13, do Ministério de Trabalho e Emprego (MTE), que passou por uma atualização recente, no ano de 2014 e publicada oficialmente através da portaria Nº 594 em 28 de abril de 2014.

Segundo a NR-13, a norma institui os parâmetros mínimos para gestão da integridade estrutural de caldeiras a vapor, vasos de pressão e após a última atualização ainda inclui suas tubulações de interligação, no que diz respeito à instalação, operação, manutenção e inspeção, buscando sempre à segurança e saúde dos trabalhadores (BRASIL, 2014).

No que diz respeito a água, esta norma diz que

> a qualidade da água deve ser controlada e tratamentos devem ser implementados, quando necessário, para compatibilizar suas propriedades físico-químicas com os parâmetros de operação da caldeira, sendo estes tratamentos obrigatórios em caldeiras classificadas como categoria A. (BRASIL, 2014).

A norma ainda diz que o profissional para ser operador de caldeira deve ter passado pelo curso de operador de caldeiras e passar por um estágio na caldeira em que irá trabalhar, neste curso de operação de caldeiras existe um módulo de carga horária 8 horas exclusivamente sobre tratamento de água e manutenção de caldeiras.

2.5 A INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA NO BOM FUNCIONAMENTO DAS CALDEIRAS

Tendo o vapor como fluido de trabalho de uma caldeira, consequentemente a água é a principal matéria-prima dos geradores de vapor, dessa forma, garantir a qualidade desse recurso é de fundamental importância para garantir a conservação e a confiabilidade dos componentes dos sistemas de geração de vapor.

Garcia (2009) em seu artigo diz que “a qualidade da água de alimentação da caldeira é fator determinante da confiabilidade e da manutenabilidade da instalação a vapor”. Deixando claro ainda que não dar a devida atenção aos parâmetros técnicos que devem ser adotados a água de

alimentação significa avarias sucessivas da instalação a vapor, com alto custo de manutenção e indisponibilidade do bem. (GARCIA, 2009)

Vários são os tipos de defeitos relacionados com a má qualidade da água de alimentação de caldeiras, dentre eles estão a corrosão, incrustação e o arraste.

Corrosão: É a deterioração de um material, principalmente metálico, em consequência da ação química ou eletroquímica das impurezas presentes na água (PWTB, 1998).

A corrosão pode ser agravada devido ao ambiente no qual a água é captada. Este fenômeno pode ter várias causas, podendo ser eletroquímica, galvânica ou bimetálica, por oxigênio, por aeração diferencial ou por concentração diferencial (TROVATI, 2009).

Nas caldeiras, a corrosão é resultado do ataque de substâncias agressivas que existem na água de alimentação. As substâncias mais comuns que atenuam esse fenômeno são: oxigênio e outros gases dissolvidos, sais (cloretos de cálcio, de magnésio etc.) e ácidos (ILLINOIS STATE WATER SURVEY, 1973).

A corrosão causa a redução gradual da espessura da parede dos tubos, podendo provocar sua ruptura, por isso da necessidade da medição de espessura quando realizado as inspeções periódicas (BUENO, 2007).

É importante salientar que a corrosão não fica restrita somente à caldeira, podendo ocorrer também nas linhas de alimentação, de vapor e de retorno de condensado (KALAKODIMI, ESMACHER, 2009).

Incrustação: É o conjunto de formações cristalinas que se depositam no interior das tubulações, devido principalmente aos sais que causam a dureza da água de alimentação, que não foram removidos no tratamento da água (ILLINOIS STATE WATER SURVEY, 1973).

Essas deposições podem causar uma redução considerável na taxa de transferência de calor no local onde são formadas e pode até provocar a ruptura da tubulação (KALAKODIMI, ESMACHER, 2007).

Isto ocorre devido ao fato de que a condutibilidade térmica da incrustação é muito menor que a do material dos tubos e portanto, tem efeito isolante. Por consequência abaixo dos depósitos formados, principalmente a partir da transição de sal cáustica, podem provocar corrosão, pitting (um tipo de corrosão pontual), corrosão por fissura por fadiga de corrosão e fragilização, que são grandes causas de falhas mecânicas (KALAKODIMI, ESMACHER, 2009).

Várias são as substâncias encontradas na água que podem provocar esse tipo de formação, entre elas temos os carbonatos de cálcio, compostos de magnésio, sulfato de cálcio, sílica e silicatos, fosfatos, compostos de ferro e cobre (GARCIA, 2009).

A dureza é um fator determinante para causar o fenômeno de incrustação, desta forma, para controlar o problema de incrustação, deve-se controlar a dureza da água de alimentação. Assim sendo, de acordo com a dureza da água bruta, será determinado o tratamento adequado para reduzir este parâmetro da água de alimentação (GARCIA, 2009).

KALAKODIMI e ESMACHER (2009), em seu relatório técnico mostram que as incrustações causam diversos problemas que afetam no desempenho e na vida útil do equipamento, entre eles tem-se:

- Redução do coeficiente de condutividade térmica;
- Corrosão por pitting;
- Corrosão por fadiga;
- Fissura na tubulação;
- Falha mecânica;
- Parada do equipamento;
- Elevação nos custos de manutenção;
- Redução de vida útil do equipamento.

Uma forma de controlar as incrustações e os depósitos é através da limitação da concentração das substâncias e materiais que as formam. Pode-se conseguir tal feito, pela elevação da temperatura da água de alimentação que reduz a concentração dos sólidos dissolvidos e por meio de tratamentos com produtos químicos, tais como (PWTB,1998):

- Agentes quelantes: EDTA (ácido etilenodiaminotetracético) (ILLINOIS STATE WATER SURVEY, 1973);
- Polifosfatos (NCDENR, 2004);
- Polímeros(NCDENR, 2004);
- Ésteres de fosfatos (PWTB, 1998);
- Dispersantes Poliméricos (KALAKODIMI, ESMACHER, 2009).

Arraste: É a passagem da água em uma mistura bifásica entre a fase líquida e a gasosa, juntamente com o vapor para o superaquecedor e o sistema de distribuição de vapor, carregando

dessa forma consigo os sólidos em suspensão e material orgânico. Essa mistura normalmente contém materiais insolúveis que são prejudiciais ao processo. Esse fenômeno pode ocorrer por questões químicas ou mecânicas. As químicas podem estar ligadas a presença de carbonato de sódio, sulfato de sódio, cloreto de sódio, matéria orgânica (óleos, graxas etc.) ou sólidos em suspensão. As questões mecânicas podem ser provocadas por defeitos no aparelho separador de vapor, pelo nível muito elevado de água, demanda excessiva de vapor ou erro de projeto da caldeira (SENAI, 2004).

Para Garcia (2009), a água que tem uma alta condutividade elétrica é muito propicia a causar o arrastamento, devido à grande presença de íons de cloreto, sulfeto e compostos de bicarbonato de sódio, cálcio e magnésio.

Garcia (2009) ainda explica o arraste ocorrendo pela água em estado de ebulição, que provoca bolhas de vapor, devido ao fenômeno de convecção natural, tendo em vista a redução da densidade da água quando a temperatura é elevada, sendo que estas bolhas estão envoltas por água. Essa bolha se rompe para liberar o vapor e a água retorna para o vaso. Quando a água é pura, esse fenômeno ocorre com facilidade e ocorre uma completa separação da água com o vapor. Quando as concentrações de sólidos dissolvidos e em suspensão ou óleo cresce na água de alimentação, as bolhas ficam mais difíceis de romper porque elas vão estabilizando-se. Conforme a caldeira cria vapor, a concentração desses contaminantes aumentam e esse controle é exercido através das descargas de fundo. Porém em certos momentos, a área do tubulão de vapor, acima da superfície da água da caldeira, fica repleta de bolhas estabilizadas e dessa forma, uma certa quantidade da água da caldeira é carregada junto com o vapor saturado pela tubulação, contaminando assim o vapor. Ao chegar no superaquecedor, as bolhas rompem-se devido à alta temperatura e a água evapora. Partículas desses contaminantes que estavam presentes na água da caldeira são carregados a diferentes regiões do superaquecedor, depositando-se em sua superfície. O acúmulo desse depósito pode gerar uma série de defeitos como ineficiência na troca de calor e no caso do cloreto de sódio é possível até a corrosão do aço inoxidável. Este tipo de arrastamento é chamado de "foaming" (GARCIA, 2009).

O tipo de arrastamento de causa mecânica, ocasionado pelo alto nível de água, balanços de navios, ou falhas nos separadores de vapor e água é chamado de "priming" (GARCIA, 2009).

2.6 TRATAMENTOS DA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS

Os tratamentos da água de alimentação da caldeira são necessários para que esta se adapte aos parâmetros necessários ao bom funcionamento do equipamento garantindo dessa forma sua confiabilidade. O tratamento adequado depende vários fatores como: da condição em que se encontra a água bruta, pressão de trabalho da caldeira, tipo de indústria, qualidade requerida do vapor, enfim, da necessidade de trabalho do equipamento. Quanto menos impurezas estiverem presentes na água, consequentemente menor será o tratamento necessário, assim como quanto menor o grau de exigência do equipamento, menor será a exigência do tratamento.

Existem diversos métodos de tratamentos que podem ser adotados, englobados em dois grandes grupos: tratamentos externos e internos. (TROVATI, 2009).

2.6.1 Tratamentos Externos

Primeiramente são efetuados os tratamentos que atuam na eliminação das impurezas mais grosseiras como, turbidez, sólidos em suspensão, e material orgânico. Depois, de acordo com a necessidade, são efetuados tratamentos mais sofisticados para eliminação do material dissolvido. Os métodos externos são os mais eficientes para a proteção do sistema, evitando falhas e aumentando a eficiência operacional. Alguns dos métodos externos existentes a serem explicados são (PWTB, 1998).

- Clarificação;
- Filtração;
- Abrandamento;
- Desmineralização;
- Osmose Reversa;
- Destilação;
- Desgaseificação ou desaeração.

2.6.1.1 Clarificação

Essa operação é geralmente realizada em uma estação de tratamento de água (ETA), a qual é responsável pela eliminação do material em suspensão na água. Esse processo é feito através do processo de coagulação, floculação e decantação (TROVATI, 2009).

A **coagulação** é o processo que visa transformar as impurezas finas que se encontram em suspensão, em partículas que possam ser removidas pelo processo de decantação e filtração, através do uso de um coagulante (BRASIL/FUNASA, 2014).

A **floculação** consiste na aglomeração consiste na aglomeração de coágulos gelatinosos produzindo flocos (BRASIL/FUNASA, 2014).

A remoção da cor e turbidez é feita através da adição de coagulantes que formam um precipitado insolúvel e gelatinoso que absorve a matéria em suspensão e formam os flocos pesados que se sedimentam nos decantadores. Os coagulantes são as substâncias capazes de produzir os hidróxidos insolúveis que englobam as impurezas. As matérias maiores que estão em suspensão mas não tem peso suficiente para decantarem, se agrupam em flocos maiores que aumentam sua densidade e são sedimentados. Normalmente os produtos adicionados que facilitam esse processo é o Sulfato de Alumínio (BRASIL/FUNASA, 2014).

O processo de clarificação pode ser representado através da figura abaixo.

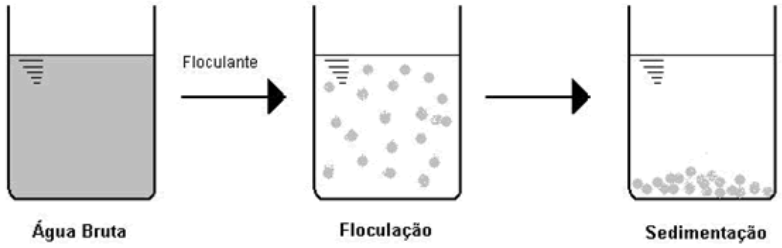


Figura 6: Processo de clarificação. (Fonte: Trovati).

2.6.1.2 Filtração

A filtração é necessária para a retirada daquelas partículas mais leves que não foram removidas pela sedimentação.

Os filtros são normalmente compostos por várias camadas de pedras, pedregulhos e areia. Pode ser utilizado também uma ou mais camadas de antracito, que confere um bom rendimento na filtração, diminuindo a frequência de lavagem, além de não precisar adicionar sílica à água (PWTB, 1998).

Dependendo da necessidade da caldeira e das condições da água, não conseguimos os parâmetros necessários com a clarificação e a filtração, nesses casos partiremos para tratamentos externos complementares como veremos.

2.6.1.3 Processos de Troca Iônica

Este tratamento visa a remoção dos íons dissolvidos na água e que podem causar danos ao equipamento. Este processo utiliza-se das chamadas resinas de troca iônica, que são pequenas esferas porosas feitas de material plástico sendo sólidas e insolúveis, que em suas superfícies estão ligados íons que serão utilizados na troca. Desta forma, existem dois tipos básicos de resinas, as carregas com íons de carga positiva as catiônicas, carregadas com cátodos tais como, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{2+}, H^{+}, Ba^{2+} etc. e as carregadas com íons negativos as aniônicas, contendo os ânions, tais como, Cl^{-}, OH^{-}, SiO_3^{2-} etc.) (ILLINOIS STATE WATER SURVEY, 1973).

O processo baseia-se em que a água a ser tratada passa por um ou mais leitos dessas resinas, dependendo dos íons a serem retidos, as quais vão atingir a saturação em determinado momento, devendo assim ser efetuado a regeneração. (BUCKMAN, 1997).

Deve-se haver um alto controle da qualidade da água antes de passar pelo processo de troca iônica. Primeiramente para saber quais os íons que devem ser dados mais atenção na retirada, tendo em vista a especificidade das resinas e também pelo fato de que alguns residuais de cloro livre, íons de ferro, sólidos suspensos, óleos e graxas são bastante prejudiciais a esses tipos de resinas. (TROVATI, 2009).

Dependendo da finalidade do tratamento os processos de troca iônica para a água são:

2.6.1.3.1 Abrandamento

O abrandamento também pode ser conhecido como amolecimento da água, consiste no método utilizado para baixar a dureza da água através da retirada dos íons de cálcio e magnésio presentes geralmente na forma de carbonatos, bicarbonatos, sulfatos e cloretos. (PWTB, 1998).

No caso dos abrandadores faz-se uso de resinas que troca íons sódio (Na^{+}) ou hidrogênio (H^{+}). Após a sua saturação e regeneração é feita geralmente com cloreto de sódio ou ácido clorídrico, em algumas situações ácido sulfúrico (MICHAUD, 2007).

A seguir pode-se visualizar um esquema do processo de abrandamento.

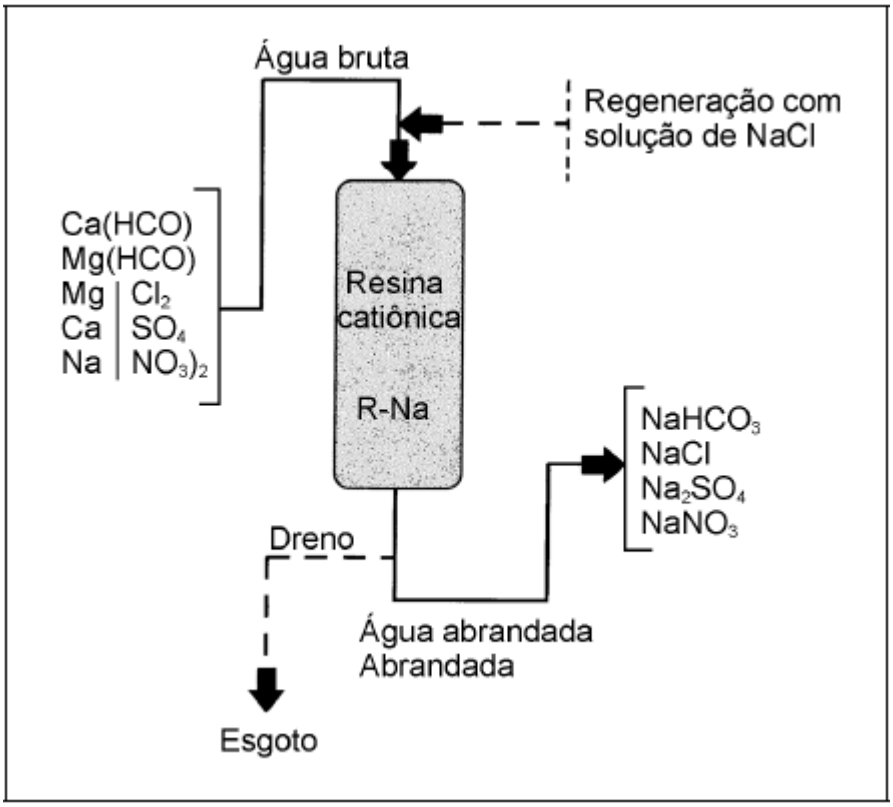


Figura 7: Processo de Abrandamento. (Fonte: Senai-SP, 2004).

A eliminação dos cátions através dos abrandadores faz-se necessária pois, caso não sejam removidos eles podem formar sais de cálcio e magnésio, que podem provocar incrustações no interior do gerador de vapor, podendo causar problemas como até a ruptura dos tubos da caldeira (MICHAUD, 2007).

2.6.1.3.2 Desmineralização

Para Buckman (1997), a desmineralização é um processo de tratamento da água onde são retirados os íons positivos e negativos da água, tornando-a com uma quantidade muito baixa de materiais dissolvidos, que pode ser comprovada através da baixíssima condutividade elétrica.

Consiste em um processo de amolecimento que opera com resina de ciclo de hidrogênio (catiônica) e resina de ciclo de hidroxila (OH^-) (aniônica) (NCDENR, 2004).

Este procedimento é capaz de remover a sílica e silicatos solúveis, carbonatos, sulfatos e até cloretos (KENNY e POPE, 2000).

Em certas ocasiões, após o leito aniônico, a água pode passar por um leito misto de resinas, para que se garanta uma maior pureza da água. O autor ainda diz que é comum a passagem da água por uma coluna de descarbonetação logo após o abrandamento para que seja feita a retirada de CO_2 que possa estar dissolvido na água (TROVATI, 2009).

Assim como no abrandamento a desmineralização também há a necessidade da regeneração quando atingido a saturação das resinas (KENNY e POPE, 2000).

A seguir temos uma figura que representa o processo de desmineralização.

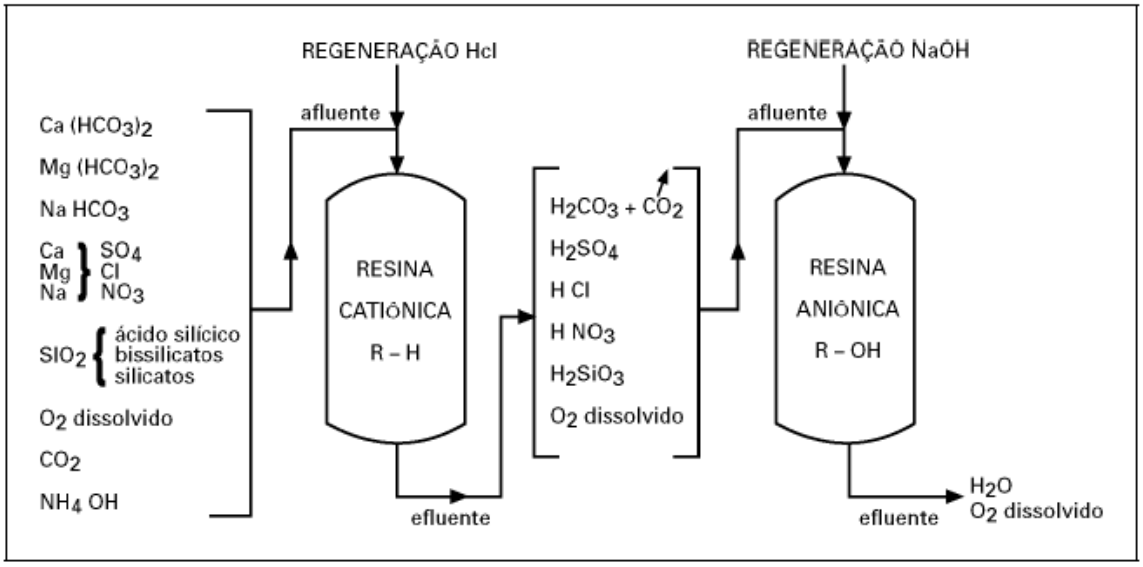


Figura 8: Processo de Desmineralização. (Fonte: SENAI-SP, 2004).

2.6.1.4 Osmose Reversa

Para Gouvêa et al. (2012), a osmose reversa é aquela em que a água está passando do meio mais concentrado para o meio diluído, fazendo o caminho inverso da osmose natural, por isso do nome osmose reversa ou também conhecida como inversa. Para que isso ocorra, é necessário fornecer energia ao sistema que é dada pela pressão hidráulica imposta ao sistema. Ao forçar a passagem da água do meio mais concentrado para o meio mais diluído, equivale a reduzir ainda mais a presença do soluto no meio aquoso, dessa forma, é possível utilizar esse processo para purificar ainda mais as soluções.

Neste artigo os autores ainda falam que o processo de tratamento da água por osmose reversa, é simples e de baixo custo operacional, que ocorre ao fazer passar de forma forçada, através

de uma bomba, a água limpa através de uma membrana semipermeável, a qual só permite a passagem da água e não das demais substâncias e elementos que estejam presentes no meio, tornando a água mais pura. Para isso é necessário a bomba pressurizadora e água de qualidade para alimentação do sistema para evitar a rápida obstrução da membrana filtrante. (GOUVÊA et al., 2012).

Trovati (2009) explica que o processo de osmose reversa consiste em passar de forma forçada a água previamente filtrada por um dispositivo cilíndrico denominado "permeador", onde os sais presentes na água são retidos por membranas seletivas. Ele explica ainda que a água pura é eliminada radialmente pelo permeado, enquanto a parte da água não permeada é descartada a uma concentração ainda maior de sais, conforme demonstrado na figura abaixo (TROVATI, 2009).

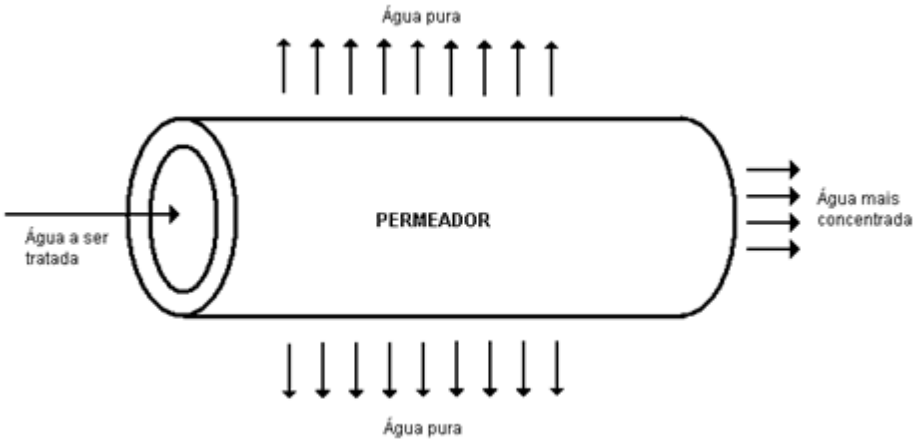


Figura 9: Processo de Osmose Reversa. (Fonte: TROVATI, 2009).

O fato dessa parcela de água descartada, do alto custo e da necessidade de se operar com vários permeadores em paralelo para a obtenção de uma vazão razoável constitui desvantagens do processo de osmose reversa. (TROVATI, 2009).

2.6.1.5 Destilação

É o processo pelo qual a água é aquecida até vaporizar e logo após condensada, deixando as matérias orgânicas e inorgânicas para trás ou matando-as, obtendo-se assim uma água com alto grau de pureza (SAHRA, 2005).

A destilação é o método mais efetivo de tratamento da água, porém também é a forma mais cara de purificação da água, sendo desta forma muito utilizada em laboratórios ou em navios para tratamento da água do mar (SAHRA, 2005).

2.6.1.6 Desgaseificação

A desgaseificação ou desaeração, é o método que visa a eliminação dos gases dissolvidos (O_2, CO_2, ar etc.). Parte-se do princípio de que a solubilidade de um gás num líquido é inversamente proporcional a sua temperatura. Desta forma para realiza-la deve-se pulverizar a água para aumentar a superfície de contato entre as gotículas de água e o vapor, desprendendo assim os elementos gasosos dissolvidos, que irão ser expulsos do desaerador através do respiro (vent), que deve permanecer sempre aberto. (ILLINOIS STATE WATER SURVEY, 1973).

Além dos tratamentos externos existem os tratamentos a serem realizados dentro da caldeira, que são chamados de tratamentos internos.

2.6.2 Tratamentos internos

O tratamento químico no interior das caldeiras é necessário mesmo quando há os tratamentos externos da água e por mais sofisticados que eles sejam, tendo em vista que nenhum tratamento externo é completamente eficiente e o tratamento interno vem para complementar esse tratamento, visando eliminar todas as impurezas contidas na água (PWTB, 1998).

Os métodos de tratamentos internos mais utilizados são:

2.6.2.1 Precipitação com fosfatos

É utilizado para efetuar a transformação de precipitados, principalmente de cálcio e magnésio, que se fixam no interior das caldeiras, em precipitados não aderentes ou lamas, facilmente removíveis pelas descargas de fundo. Esse controle é feito através da manutenção da concentração adequada de fosfato e alcalinidade hidróxida na água, associada a descargas de fundo para remover as lamas (KENNY e POPE, 2000).

2.6.2.2 Tratamento com Quelatos

Processo bastante diferente do convencional, os quelatos não precipitam o cálcio e o magnésio, ele forma compostos solúveis, impossíveis de gerar incrustações nas caldeiras e como não há formação de lamas, eles são removidos pelas descargas de fundo.

Esse método necessita de um controle rigoroso das análises físico-químicas da água pois, como os quelatos são atraídos a reagir com o ferro, eles podem atacar a caldeira, formando complexos ferrosos ou férricos (NCDENR, 2004).

2.6.2.3 Tratamento com Aminas

As aminas fílmicas são compostos orgânicos nitrogenados que são utilizadas para que seja formado filmes protetores contra o efeito corrosivo do oxigênio dissolvido sobre as tubulações e acessórios metálicos nas linhas de vapor e condensado. É de grande importância salientar que tal composto atua sobre o vapor de forma que para a proteção da caldeira contra a corrosão pelo oxigênio dissolvido deve ser utilizado os sequestrantes de oxigênio.

Também existe a utilização das aminas neutralizantes, para evitar o ataque corrosivo efetuado pela contaminação com o gás carbônico que, quando em contato com o vapor no retorno do condensado ataca o ferro formando o carbonato de ferro. Esse fenômeno além de enfraquecer a tubulação, também transporta ferro e cobre para o interior da caldeira (KENNY e POPE, 2000).

2.6.2.4 Tratamento com Sulfito de Sódio

O sulfito de sódio é usado como sequestrante de oxigênio, reagindo com o oxigênio formando o sulfato de sódio, principalmente quando o pH e as temperaturas são elevadas. Na utilização desse produto é muito importante o acompanhamento do pH pois pode haver a formação de ácido sulfúrico. (KENNY e POPE, 2000).

2.7 ANÁLISES DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS INDUSTRIAIS

Após verificarmos a importância da qualidade da água no bom funcionamento da caldeira, compreendermos melhor os tipos de tratamentos existentes para a água de alimentação de caldeiras

e entender a importância da identificação dos parâmetros da água bruta na decisão dos melhores tratamentos a serem utilizados, vamos agora nos aprofundar a respeito das análises que devem ser efetuadas para verificar os parâmetros da qualidade da água de alimentação das caldeiras.

Segundo Buckman (1997), a água ideal para ser utilizada em caldeiras deve apresentar as seguintes características: quantidade mínima de sais e óxidos dissolvidos, bem como ausência de oxigênio e outros gases dissolvidos, materiais em suspensão e orgânicos, temperatura elevada e pH adequado (faixa alcalina).

Com esta finalidade, faz-se necessário o ajuste e a avaliação de alguns parâmetros da água para atender as características requeridas em função dos diferentes setores industriais, entre esses parâmetros temos: pH, dureza, sílica solúvel, óxidos metálicos, substâncias inorgânicas, material orgânico, materiais em suspensão e gases dissolvidos.

Para assegurar que sejam selecionados os métodos adequados de tratamento da água de alimentação das caldeiras, faz-se necessário que seja realizado primeiramente análises na agua bruta e dessa forma então, podemos selecionar os tratamentos corretos.

Segundo a ASME (Sociedade Norte Americana de Engenheiros Mecânicos), alguns parâmetros que devem ser analisados são:

- Oxigênio Dissolvido;
- Ferro total;
- Dureza total;
- pH;
- Matéria orgânica;
- Sílica;
- Alcalinidade total;
- Alcalinidade Hidróxida;
- Condutividade;
- Sólidos Totais Dissolvidos (ASME, 2010)

Baseado em Buckman (1997) e na ASME (2010), foram selecionados os seguintes parâmetros a seguir para serem avaliados. O método de análise utilizado para quantificar cada parâmetro serão explicados no tópico materiais e métodos adiante.

- Dureza Total;

- Dureza Cálcio;
- Dureza Magnésio;
- Acidez Total;
- Alcalinidade Bicarbonato;
- Cloretos;
- Ferro Total;
- Turbidez;
- Oxigênio Dissolvido;
- Condutividade Elétrica;
- Sólidos Totais Dissolvidos;
- pH.

2.7.1 Dureza

A dureza da água é resultado principalmente da presença de sais alcalinos (cálcio e magnésio) e de outros metais bivalentes, sendo que em menor quantidades.

A dureza total é a soma das concentrações de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) devida a bicarbonatos (HCO_3^-), sulfatos (SO_4^{-2}), cloretos (Cl^-) e nitratos (NO_3^-) (DREW, 1984).

A análise é realizada por meio do processo de titulação complexométrica, utilizando uma solução padronizada de EDTA (VOGEL, 1992).

Após a análise, calcula-se a dureza e seus resultados podem ser comparados com os parâmetros da tabela de classificação a seguir, esse método é padronizado de acordo com o SM 2340 A/B/C.

Tabela 2 Classificação da água em relação a dureza.

Dureza total (mg/L $CaCO_3$)	Classificação
< 15	muito branda
15 - 50	branda
50 - 100	moderadamente dura
100 - 200	dura
> 200	muito dura

FONTE: SENAI-SP, 2004.

2.7.2 Acidez Total e Acidez Carbônica

A acidez de uma água corresponde à presença de anidrido carbônico livre, ácidos minerais e de sais de ácido forte e base fraca. No entanto, considera-se como se a acidez fosse unicamente devido a presença de ácido carbônico.

A sua determinação é realizada por volumetria de ácido-base, usando uma solução titulante uma solução de NaOH.

É importante identificar esse parâmetro pois, o gás carbônico contido na água pode contribuir bastante para a corrosão das estruturas metálicas, por essa razão seu teor deve ser conhecido e controlado (LACERDA, 2009).

2.7.3 Alcalinidade Total e Parcial (Bicarbonato)

A alcalinidade é a propriedade que está relacionada com a capacidade de neutralizar um ácido. No caso da água essa propriedade permite a neutralização ou redução das suas características ácidas. Isso ocorre pela à presença de hidróxidos (OH^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonatos (HCO_3^-) na água de alimentação da caldeira (CHAPMAN, 1992).

A alcalinidade fora dos limites pode provocar incrustação, liberação de CO2 e formação de espuma de propicia o arraste (FRITZSONS et al., 2009).

O limite de alcalinidade da água de alimentação de caldeiras industriais, segundo a ASME (2010), é de 100 mg/l de $CaCO_3$.

A alcalinidade total é determinada através da titulação com ácido forte (HCl) na presença do indicador alaranjado de metila e a alcalinidade parcial é titulada na presença do indicador fenoftaleína para o caso da alcalinidade total (RICHTER, 1991).

2.7.4 Cloretos

Na maioria das situações os cloretos têm procedência na dissolução de minerais ou pela intrusão da água do mar, podendo também provir dos esgotos domésticos ou industriais.

Sua detecção e controle é importante pois os cloretos aumentam bastante o poder corrosivo da água, sendo até alguns aços inoxidáveis sensíveis a cloretos (BUCKMAN, 1997).

A verificação dos cloretos pode ser efetuada através do método de Mohr, onde o cloreto é titulado com solução padrão de nitrato de prata na presença de cromato de potássio como indicador, esse método é padronizado de acordo com o SM 4500B (VOGEL, 1992).

Para termos uma ideia o valor aceitável da quantidade de cloretos na água de consumo humano é de até 250 mg/L de Cl^-, segundo a portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. (BRASIL, 2004)

2.7.5 Ferro Total

A detecção do ferro na água é importante pois sua presença, geralmente sob a forma de bicarbonato de ferro, ($Fe(HCO_3)_2$), podem ocasionar muitos problemas como a formação de depósitos e óxidos nas caldeiras e em linhas de distribuição, que permite que os produtos corrosivos se concentrem sob esses depósitos, provocando uma rápida corrosão (GARCIA, 2009).

A sua verificação pode ser efetuada através do método colorimétrico da ortofenantrolina para a determinação do ferro total, ferro férrico e ferro ferroso (CLESCERI, 1998).

Baseado nos Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater, o ferro presente em solução é reduzido previamente com cloridrato de hidroxilamina em meio de ácido

clorídrico. Em seguida reage com solução de 1,10-fenantrolina em pH 3,2-3,3. Três moléculas de fenantrolina formam quelatos (composto químico formado por um íon metálico ligado por várias ligações covalentes a uma estrutura heterocíclica de compostos orgânicos como aminoácidos, peptídeos ou polissacarídeos) com cada cátion de ferro II produzindo um complexo de cor laranja avermelhado. A cor da solução obedece a Lei de Lambert-Beer em 510 nm. A intensidade da cor da solução é independente do pH no intervalo de 3 à 9. Entre pH 2,9 e 3,5 o desenvolvimento da cor é bastante rápido e a cor dos padrões são estáveis por 6 meses. São interferentes na análise: oxidantes fortes, cianeto, nitrito, fosfatos, cromo, zinco em concentrações 10 vezes superior à concentração de ferro, cobalto e cobre em excesso de 5 mg/L, níquel em excesso de 2 mg/L. Bismuto, cádmio mercúrio, molibdato e prata são precipitados com ortofenantrolina, esse método é padronizado de acordo com o SM 3120B (CLESCERI, 1998).

Segundo a ASME (2010) a quantidade máxima de Ferro total que pode ser encontrado na água de alimentação de caldeira deve ser de até 0,02 mg/L de Fe^{2+}.

2.7.6 Turbidez

A turbidez é a medida da interferência à passagem da luz (refração), causada devidos aos sólidos em suspensão. Essas partículas sólidas podem sem de: sílica, argila, matéria orgânica sob a forma de microorganismos e sua presença na água de alimentação pode provocar sedimentos nas linhas de água (AZEVEDO e CAMPOS, 2013).

O método para a determinação da turbidez é através do turbidímetro, que é um equipamento dotado com fonte de luz, através de um filamento de tungstênio, que incide na amostra, e um detector fotoelétrico capaz de medir a luz que é dispersada em um ângulo de 90° em relação a incidente. Essa medida é quantificada em unidades nefelométricas de turbidez (NTU) e esse método é padronizado segundo a Standard Methods (SM 2130B) (PARRON, 2011).

De acordo com a portaria 518/2004 do Ministério da Saúde o valor máximo permissível de turbidez de água para consumo humano é de até 5 UT (unidade de turbidez). (BRASIL, 2004)

2.7.7 Oxigênio Dissolvido

A oxigênio dissolvido deve ser verificado pois sua presença é altamente prejudicial aos equipamentos, tendo em vista que ele é bastante corrosivo ao ferro e as ligas de cobre. Sua remoção é necessária quando a água se destina a alimentação de caldeiras (PIVELLI, 2010).

A verificação do oxigênio dissolvido pode ser efetuada pelo método potenciométrico empregado nos medidores de Oxigênio Dissolvido (OD), que consistem em uma sonda de eletrodo que possui uma membrana que adsorve seletivamente o oxigênio, tendo como base o seu raio de difusão molecular (PARRON, 2011).

De acordo com a ASME (2010) a quantidade limite de oxigênio dissolvido recomendado da água de alimentação de caldeira é de 0,07 ppm.

2.7.8 Condutividade Elétrica

Pode ser definida como a capacidade que a água tem de conduzir a corrente elétrica. Parte-se do princípio que a água pura não é boa condutora de eletricidade, porém, quando os sais minerais e outros materiais são dissolvidos na água, essa capacidade de conduzir a corrente elétrica aumenta (ILLINOIS STATE WATER SURVEY, 1973).

Este teste baseia-se então na ideia de que quanto maior for a quantidade de materiais dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da amostra e, portanto, mais impurezas estão presentes na água (POPE, KENNY, 2000).

A condutividade muito alta em água de alimentação de caldeiras, pode provocar problemas como arraste, maior consumo de combustível, redução de eficiência e provocar problemas mecânicos nas caldeiras (POPE, KENNY, 2000).

Este parâmetro indica possíveis modificações na qualidade da água, porém não permite a indicação das quantidades relativas de cada elemento (BACARIM, 2014).

Para a determinação da condutividade elétrica, utiliza-se os chamados condutivímetros, que são baseados na intensidade da corrente elétrica que circula entre os eletrodos, localizados na célula de medição e que são imersos na amostra que irá medir (PARRON, 2011).

Na água de alimentação de caldeiras industrial deve-se controlar a condutividade em no máximo 150 μS/cm, segundo a ASME (2010).

2.7.9 Sólidos Totais Dissolvidos

Os sólidos totais dissolvidos (STD), é a soma de todos os constituintes químicos dissolvidos na água. Mede a concentração de substâncias iônicas e é expressa em mg/L ou ppm (partes por milhão) (ILLINOIS STATE WATER SURVEY, 1973).

Umas das formas mais utilizadas par quantificar a quantidade de sólidos totais dissolvidos é através da conversão da medida de condutividade elétrica (ILLINOIS STATE WATER SURVEY, 1973).

Para efetuar essa conversão o valor da condutividade elétrica é multiplicado por um valor que varia entre 0,54 a 0,96, dependendo da composição química da STD. A maioria dos aparelhos utilizados para fazer a medição da condutividade elétrica já fazem essa conversão automaticamente (PARRON, 2011).

2.7.10 Potencial Hidrogêniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) indica a condição ácida, neutra ou alcalina de uma solução. Ele é um indicador das características de deposição ou dispersão da água de alimentação da caldeira. Indica a concentração de íons H^+ e OH^- presentes na solução (PIVELLI, 2010).

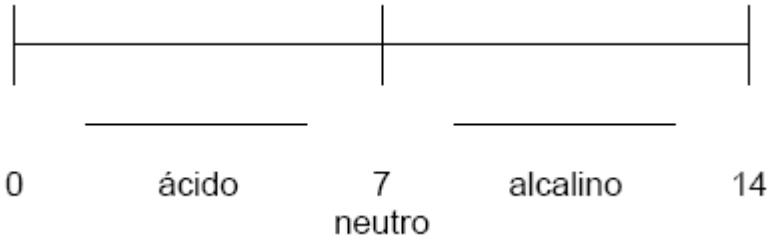


Figura 10: Relação de ácido e alcalino em relação ao pH de uma solução.

O método potenciométrico é o mais preciso e recomendado para a determinação do pH de uma solução (PARRON, 2011). O equipamento utilizado é o peagâmetro e consiste basicamente em um eletrodo de referência, um eletrodo indicador e um dispositivo de medida de potencial. O sinal que o eletrodo gera quando submerso na amostra é em milivolts e esse valor é então convertido para a escala de pH de 0 a 14 (SKOOG, 2006).

A ASME (2010) recomenda que o pH da água de alimentação de caldeiras seja básico e com valores em torno de 8,8 a 9,6.

2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo foi dedicado ao uso da água para alimentar caldeiras industriais, para isso vimos o que é uma caldeira, quais os tipos de caleira e como ela funciona através dos ciclos termodinâmicos, mais precisamente o ciclo de Rankine. Vimos as aplicações das caldeiras e as normas e legislações que as fiscalizam, nesse sentido foi visto que a NR-13 é a norma brasileira do ministério do trabalho que normatiza tudo o que diz respeito a caldeiras e vasos de pressão, inclusive o projeto, fabricação, materiais de construção, instalação, operação, manutenção, inspeção e a qualidade da água para seu uso. Foi explicado que a qualidade da água é de suma importância para o bom funcionamento da caldeira, a qualidade da água evita problemas como corrosão, incrustação e arraste, permite um bom funcionamento do equipamento, aumentando sua confiabilidade e reduzindo o custo de manutenção, além de aumentar muito a vida útil do equipamento.

Para que a água tenha os parâmetros necessários para sua utilização são necessários efetuar os tratamentos internos e externos. Vimos que alguns dos tratamentos externos são a filtração, clarificação, abrandamento, desmineralização, osmose reverá e destilação, enquanto os tratamentos internos são precipitação com fosfatos, tratamento com quelatos, tratamento com aminas, tratamento com sulfito de sódio. Para verificar quais os tratamentos necessários a água de alimentação e para verificar as condições da água após o tratamento, são necessários efetuar as análises da qualidade da água, onde parâmetros são selecionados e analisados para verificar a qualidade da água de alimentação. Neste tópico verificamos como se faz a análise de parâmetros como Dureza Total, Dureza Cálcio, Dureza Magnésio, Acidez Total, Alcalinidade Bicarbonato, Cloretos, Ferro Total, Turbidez, Oxigênio Dissolvido, Condutividade Elétrica, Sólidos Totais Dissolvidos e pH.

CAPÍTULO III

Viabilidade Econômica e Técnica

Neste capítulo vamos falar sobre a viabilidade econômica e técnica do uso de águas de precipitações atmosféricas em alimentação de caldeiras industriais. Para isso iremos falar primeiramente da viabilidade econômica, onde será mostrado métodos para avaliação de investimento e retorno através do fluxo de caixa, valor presente líquido e taxa interna de retorno a fim de identificar se o investimento seria viável economicamente.

Passado este tópico, falar-se-á a respeito da viabilidade técnica onde será mostrado as metodologias para a análises da qualidade da água.

3.1 VIABILIDADE ECONÔMICA

A análises da viabilidade econômica de um projeto está relacionada com a estimativa de desempenho financeiro do projeto, levando em consideração os recursos financeiros existentes para a execução de um projeto e verificar a capacidade do retorno do capital investido (investimento inicial) no projeto (RODRIGUES e ROZENFELD, 2013). Para isso existem os métodos de avaliação do investimento e retorno.

3.1.1 Métodos de Avaliação de Investimento e Retorno

Existem vários modelos para análises econômico-financeira de um projeto, um dos modelos mais importantes e mais utilizado é o Modelo de Desconto de Fluxo de Caixa (DFC), que representa a análises, a valor presente, dos fluxos de caixa líquidos que serão gerados no futuro.

Nesse modelo utiliza-se de várias técnicas tais como o Valor Presente Líquido, a Taxa Interna de Retorno, a Relação Custo Benefício e o Período de Payback Descontado (PPD) (MACEDO e LUNGA, 2010).

3.1.2 Modelo de Desconto de Fluxo de Caixa

A avaliação efetuada pelo método do fluxo de caixa descontado baseia-se na teoria de que o valor de um negócio depende dos benefícios que ele possa gerar no futuro, descontando para um valor presente, através de uma taxa de desconto apropriada, que reflita os riscos inerentes a estimação (ENDLER, 2004).

Segundo Damadoran (1997), o modelo de fluxo de caixa descontado por ser representado através da seguinte fórmula:

$$VPFC = \sum_{t=1}^{n} \frac{FCt}{(1+i)^t}$$

Onde:

VPFC -> Valor Presente dos Fluxos de Caixa;

n -> Vida útil do ativo;

i -> Taxa de desconto;

FCt -> Fluxo de caixa no período t.

3.1.3 Fluxo de Caixa

O primeiro passo na avaliação econômica é a construção do fluxo de caixa, isto é, a definição de todas as entradas e saídas de capital durante o ciclo de vida planejado para o produto.

Os resultados dos fluxos de caixa auxiliam na tomada de decisão, podendo esses resultados econômicos serem obtidos por meio de métodos de avaliação de investimentos. Os métodos tradicionais calculam indicadores baseados no fluxo de caixa descontado tradicional, como por exemplo o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o payback. Normalmente é utilizada uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) como referência, que serve de parâmetro para a aceitação ou rejeição de determinado investimento, isto quer dizer, o mínimo a ser alcançado por investimento para que ele seja considerado viável (RODRIGUES e ROZENFELD, 2013).

3.1.4 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL consiste em transferir para o presente todas as variações de caixa esperadas, ou seja, as entradas e saídas de capital, descontadas de uma taxa de desconto "i", denominada de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (REBELATTO, 2004).

Desta forma, utilizando uma abordagem de aceitar-rejeitar, se o VPL>0 o projeto deve ser aceito pois, acrescenta riqueza ao investidor, se o VPL<0 o projeto deve ser rejeitado pois, consome riqueza do investidor (MACEDO e LUNGA, 2010).

O VPL pode ser descrito através da fórmula:

$$VPL = \sum_{t=1}^{n} \frac{FCt}{(1+i)^t} - I$$

Onde:

I -> Investimento inicial

FCt ->Fluxo de caixa previsto no projeto para o intervalo de tempo.

n-> período de tempo

i-> taxa de desconto (taxa mínima de atratividade) (RODRIGUES e ROZENFELD, 2013).

3.1.5 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Pode ser definida como sendo a taxa de desconto que iguala o valor presente dos lucros futuros com os gastos com o investimento no projeto, dessa forma, é o valor da taxa de desconto que igual o VPL a R$ 0,00 (GITMAN, 2007).

Desta forma, podemos calculá-la através da mesma fórmula usada para o VPL mas desta vez iremos igualá-lo a zero e iremos encontrar o "i" que será denominada de Taxa Interna de Retorno (TIR).

$$0 = \sum_{t=1}^{n} \frac{FCt}{(1+TIR)^t} - I$$

No que diz respeito aos critérios de avaliação, quando comparamos a TIR com a TMA (Taxa Mínima de Atratividade) temos:

- Se a TIR > TMA significa que o projeto é atrativo economicamente;
- Se a TIR = TMA significa que o projeto indiferente do ponto de vista econômico;
- Se a TIR < TMA significa que o projeto não é atrativo economicamente, pois seu retorno é menor que seu investimento. (RODRIGUES e ROZENFELD, 2013).

3.1.6 Relação Benefício-Custo

A relação Benefício Custo (B/C) mostra o quanto o valor presente das entradas representa do valor presente das saídas de caixa. Desta forma, o projeto é considerado viável quando B/C é superior a um, pois isso representa aumento de capital, ou seja, geração de riqueza. (MACEDO e LUNGA, 2010).

A relação benefício-custo pode ser dada pela fórmula:

$$\frac{B}{C} = \sum \frac{Valor\ Presente\ das\ Entradas\ de\ Caixa}{Valor\ Presente\ das\ Saídas\ de\ Caixa}$$

3.1.7 Período de Payback Descontado (PPD)

De acordo com Rebelatto (2004), o payback corresponde ao tempo necessário para que o valor atual do retorno do capital investido se iguale ao desembolso do investimento inicial, visando a restituição do capital aplicado. Desta forma, esse índice quantifica o período que um investimento demora para ser ressarcido.

Existe o payback simples e o payback descontado, no simples a taxa de desconto é ignorada, ou seja, o valor do dinheiro no tempo não é considerado. No payback descontado, considera-se a taxa de juros para efetuar o cálculo do período gasto (FAMÁ et al., 1998).

De acordo com Rodrigues e Rozenfeld (2013), os cálculos do payback podem ser efetuados através das seguintes fórmulas.

Payback simples:

$$\frac{|FCj_{-}|}{(|FCj_{-}| + |FCj_{+}|)} x(Ano_{+} - Ano_{-}) + Ano_{-}$$

Onde:

FCj -> Fluxo de Caixa acumulado

Ano_ -> Período de tempo que o investimento ainda é negativo

Ano+ -> Período de tempo que o investimento gera lucro.

Payback descontado:

$$\frac{|FCCDj_|}{(|FCCDj_| + |FCCDj_+|)} x(Ano_+ - Ano_) + Ano_$$

Onde:

FCCDj -> Fluxo de Caixa acumulado descontado

Os critérios de avaliação que pode ser adotados nesse método é:

- Se o período de payback é menor que o período máximo aceitável de recuperação, o projeto deve ser aceitado;
- Se o período de payback é maior que o período máximo aceitável de recuperação, o projeto não deve ser aceitado (RODRIGUES e ROZENFELD, 2013).

Ainda segundo os autores, a forma mais fácil de calcular o payback é simplesmente acumulando as entradas e saídas, e determinando o período em que houve a transição de um valor negativo para um valor positivo, ou seja, o momento em que o investimento foi enfim recuperado. No entanto, os autores explicam que nesse caso, apesar de mais simples, não considera o valor do dinheiro no tempo (RODRIGUES e ROZENFELD, 2013).

3.2 VIABILIDADE TÉCNICA

Para verificar a viabilidade técnica do uso da água da chuva em caldeiras industriais será analisada a qualidade da água pluvial e identificar se os seus parâmetros estão dentro daqueles recomendados pelos padrões definidos para uso e verificar quais os tratamentos necessários para obtenção de uma água de qualidade, conforme apresentado no capítulo anterior.

3.2.1 Métodos Analíticos para análises da qualidade da água

Existem diversos métodos para realizar análises na química, mas sempre há um método mais adequado a ser utilizado, seja em função de precisão; reprodutibilidade ou custo. Por isso, a seleção do método da análise é uma etapa muito importante na solução de um problema analítico (PARRON, 2011).

Dessa forma vamos conhecer os métodos analíticos de acordo com Parron (2011), que são divididos em:

- Físicos: São aqueles que fazem uso de uma ou mais propriedades físicas dos analitos para separação e/ou quantificação, tais como, espectroscopia, espectrometria, turbidimetria, entre outros.
- Químicos: São aqueles que fazem uso das transformações químicas como base primária da separação e quantificação, sendo eles, volumetria, gravimetria, combustão etc.
- Eletroquímicos: São aqueles baseados em medidas de voltagens ou correntes que são associadas com transformações químicas, por exemplo a potenciometria, condutometria etc.
- Cromatografia gasosa e líquida: São as técnicas de separação que utiliza métodos químicos e físicos para detecção e quantificação.

3.2.1.1Turdidímetro

O método para a determinação da turbidez é através do método nefelométrico, que se baseia na diminuição da intensidade pela difração da luz que atravessa a amostra sob condições definidas, comparando com a intensidade da luz atravessada por um padrão de referência sob as mesmas condições, o padrão utilizado é a formazina (BRASIL/Funasa, 2014).

O equipamento utilizado é o turbidímetro que é um equipamento dotado com fonte de luz, que incide na amostra, e um detector fotoelétrico capaz de medir a luz que é dispersada em um ângulo de 90° em relação a incidente. A luz dispersada, quando passa através da água, quantifica a medida em unidades nefelométricas de turbidez (NTU) ou uT (Unidades de Turbidez) que são unidades equivalentes. O turbidímetro antes de ser utilizado, deve ser calibrado com suspensões de turbidez (0, 10 e 500 NTU) antes de ser utilizado. A amostra que irá ser destinada a análise de turbidez deve ser mantida ao abrigo da luz e sob refrigeração até o momento da análise. Durante a análise, a amostra deve estar a temperatura ambiente e ser agitada antes de ser transferida para a cubeta de medição. Esse método é padronizado segundo a Standard Methods (SM 2130B) (PARRON, 2011). Abaixo segue uma figura esquemática do funcionamento de um turbidímetro.

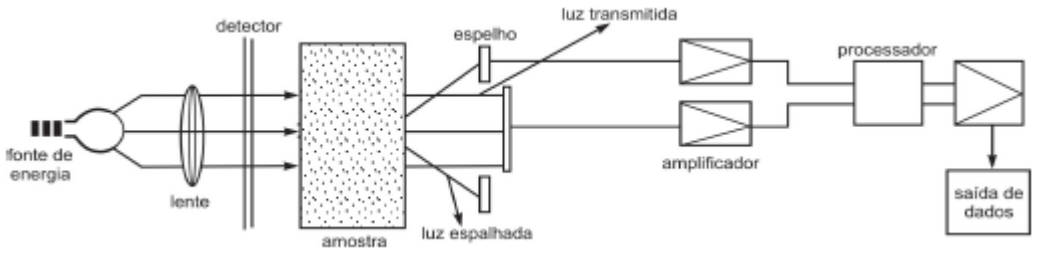


Figura 11Esquema de funcionamento de um turbidímetro. (FONTE: PARRON, 2011).

3.2.1.2Volumetria

A volumetria, também conhecida como titulação volumétrica, é o procedimento analítico no qual uma reação química ocorre, sendo o volume do reagente monitorado e a quantidade desconhecida de um composto (titulado) é determinada através da reação deste composto com um reagente (titulante) padrão ou padronizado (VOGEL, 2002).

Este procedimento consiste na adição gota a gota de uma solução de concentração conhecida e padronizada sobre outra, a qual se deseja determinar a concentração, até chegar ao ponto final ou ponto de equivalência, isto é, o ponto em que haverá alguma evidência física e notável de que a reação completou (PARRON, 2011).

Em qualquer titulação, o ponto de equivalência química é aquele que há variação de cor de um indicador ou a resposta de algum instrumento (SKOOG et al., 2006).

Os métodos volumétricos são muito utilizados na análise da qualidade da água entre eles temos:

- Volumetria de Neutralização: Este método baseia-se na reação entre um ácido e uma base, formando o sal correspondente e água. Quando chegado o ponto de equivalência, a solução é neutralizada e ocorre uma inflexão na curva de titulação. Este ponto de equivalência pode ser detectado de duas maneiras, ou através do monitoramento do curso da titulação por um eletrodo, ou com um indicador ácido-base. Através desse método pode-se determinar a alcalinidade total da água, através da titulação da amostra com ácido clorídrico obtendo-se a concentração total de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos dissolvidos, como pode ser visto na figura a seguir. (VOGEL, 2002).
- Volumetria de Complexação: Nesse tipo de titulação, um íon metálico reage com um ligante metálico para formar um complexo. Normalmente o titulante é o ligante enquanto o íon metálico é o analito presente na amostra. A volumetria por

complexação é utilizada na determinação da dureza da água onde o titulante utilizado é o EDTA (PARRON, 2011).

Abaixo podemos verificar um esquema de funcionamento de uma titulação.

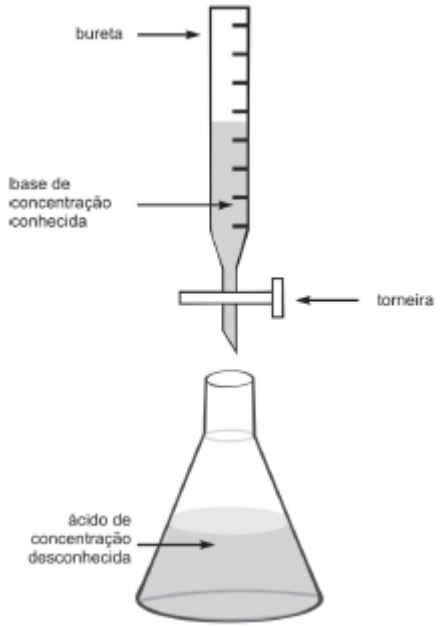


Figura 12Esquema de funcionamento da titulação. (FONTE: PARRON, 2011).

3.2.1.3Potenciometria

Este método consiste na determinação da concentração de determinado íon através da medida do potencial elétrico. Sua fundamentação teórica baseia-se na relação entre potencial e concentração da equação de Nernst (VOGEL, 2002).

O método potenciométrico como foi dito no capítulo anterior, é o mais indicado para a determinar o pH, tendo em vista que é o mais preciso e exato. O peagâmetro funciona através da leitura direta da amostra, comparando os valores da amostra com valores obtidos anteriormente em soluções-tampão (teste de exatidão) (SKOOG, 2006).

O teste de exatidão consiste na calibração do equipamento efetuada antes do seu uso. Para isso, utiliza-se soluções-tampão de pH 7,0 e uma outra solução com pH próximo de 7,0 distando de 2 a 3 pontos para mais ou para menos, para se obter uma curva linear. É muito comum a utilização de tampões de pH 4,0 ou 9,0, dependendo da faixa em que se situe o pH da amostra (PARRON, 2011).

No caso da água da chuva através de experiências com trabalhos anteriores feito pelos autores Valle (2005), Araújo, Reis e Rocha (2009), Jaques (2005) e Tordo (2004), que irão ser discutidos nos resultados e discussões, o pH da água da chuva apresentado foi menor que 7,0, desta forma a solução-tampão indicada para utilizar no peagâmetro e a de pH 7,0 e 4,0.

Abaixo segue um esquema de funcionamento do peagâmetro.

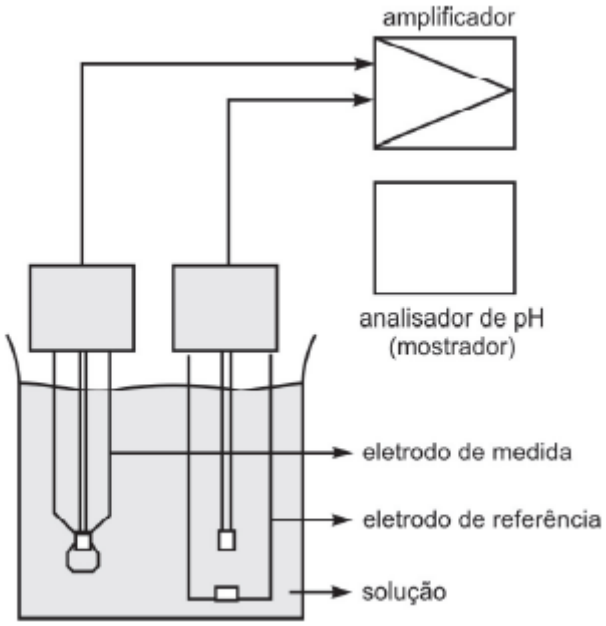


Figura 13Esquema de funcionamento de um peagâmetro. (FONTE: PARRON, 2011)

Este método também pode ser usado para a determinação do Oxigênio Dissolvido, como visto anteriormente. Nesses aparelhos dois eletrodos metálicos são imersos em uma amostra conforme o eletrólito a ser determinado é contido em uma membrana seletiva. Essa membrana impede a passagem da água e de sólidos dissolvidos, permitindo somente a passagem do oxigênio e outros gases se difundem através dela (PARRON, 2011). Pela ação da diferença de potencial entre os eletrodos e na presença do oxigênio no eletrólito, ocorre uma reação. Essa reação gera uma corrente e a intensidade dessa corrente elétrica é proporcional à concentração de oxigênio dissolvido na membrana e consequentemente proporcional ao OD contido na amostra onde o sensor encontra-se imerso. Estes aparelhos precisam ser calibrados antes do uso usando-se uma solução de sulfito de sódio para calibração do OD zero e água aerada e refrigerada para a calibração do valor de saturação (PIVELI, 2010).

3.2.1.4Condutividade Elétrica

Como vimos anteriormente a condutividade elétrica mede a concentração total de íons em solução. Utilizando-se da Lei de Ohm (E=IxR), a qual estabelece que a intensidade da corrente (I) que passa por um condutor elétrico, é inversamente proporcional a resistência (R) e onde (E) representa a diferença de potencial. Os condutivímetros, baseiam-se na intensidade da corrente elétrica que circula entre os eletrodos, localizados na célula de medição que são mergulhados na amostra. O seu funcionamento é dado através de uma célula que é conectada ao condutivímetro, a qual aplica o potencial e esses eletrodos fazem o tratamento do sinal. Essa célula de medição consiste em duas placas de metal que são fixadas e montadas em material isolante. Os eletrodos geralmente são construídos de platina e revestidos por um depósito eletrolítico de negro de platina. Em soluções líquidas, a corrente é conduzida pelos íons dissolvidos por entre os eletrodos. Estes equipamentos devem ser calibrados antes de sua utilização, fazendo uso das soluções padrões, que são soluções com valores de condutividade conhecidos. A unidade utilizada pelo Sistema Internacional (SI) é o Siemens por centímetro (S/cm) a uma temperatura padronizada de 25 graus Celsius (25 °C). Se a amostra estiver em temperatura diferente, o equipamento faz a compensação da temperatura, pois é muito importante essa compensação, tendo em vista que a condutividade varia tanto com a temperatura como com a concentração (PARRON,2011).

Abaixo pode ser verificado um esquema de funcionamento do condutivímetro.

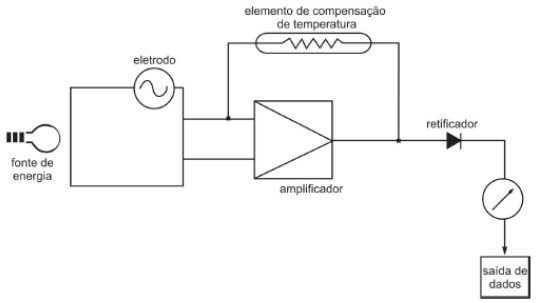


Figura 14Esquema de funcionamento do Condutivímetro. (FONTE: PARRON, 2011).

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo, foi feita as considerações a respeito da viabilidade econômica e técnica do uso da água da chuva em caldeiras industriais. Para isso foi verificado quais os tipos de métodos de análises de viabilidade econômica, foi explicado o fluxo de caixa, o valor presente

líquido, taxa interna de retorno, benefício-custo e payback, que serão ferramentas importantes para verificar a viabilidade econômica do projeto. Logo após levantado as considerações da viabilidade econômico-financeira do projeto, verificamos o quesito da viabilidade técnica, onde foi explicado quais as análises que devem ser feitas na água da chuva para determinar se a mesma é aconselhável para uso em caldeiras e quais os tratamentos que devem ser efetuados.

Vale salientar, que mesmo diante de tantas ferramentas para verificar a viabilidade do projeto, não se pode esquecer que além de tudo deve-se ser verificado a questão da sustentabilidade. Deve ser lembrado que este projeto é primeiramente sustentável, tendo em vista que está sustentado no tripé do benefício social, ecológico e econômico, de forma que auxilia no consumo hídrico consciente, utilizando fontes alternativas que evitam os riscos de enchentes nas cidades, aumenta a disponibilidade de água para consumo humano e de outras espécies e ainda podem gerar empregos para a sociedade durante as adaptações das industrias para a captação da chuva.

Desta forma, será verificado os indicadores econômicos, mas pode-se dizer de antemão, que mesmo tendo um alto payback, ou uma baixa taxa interna de retorno a empresa pode ser beneficiada através de marketing verde e melhorar sua popularidade, que não serão levados em consideração nos cálculos e que podem fazer com que o projeto continue sendo viável e com alta prioridade.

CAPÍTULO IV

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O estudo foi realizado, em uma indústria do setor de alimentos, localizada no estado de Sergipe, através da parceria firmada entre o Instituto Federal de Sergipe e a Universidade Federal da Paraíba por meio do mestrado interinstitucional associado à rede PRODEMA.

Esta grande indústria está localizada no município de Lagarto/SE, o qual possui um clima, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, As, megatérmicos, com estações invernosas ausentes, com clima tropical com estação seca de verão e chuvas de inverno, possuindo precipitações anuais médias de 900 a 1100 mm segundo a COHIDRO. Localiza-se nas seguintes coordenadas geodésicas: latitude 10°56'41.0"S, longitude: +37°39'53.3"W.

A fábrica é responsável pela fabricação do Flocão, Flocos de milho, fubá fino e grosso, canjica amarela, canjica branca, mingau, farinha láctea, adoçante, achocolatado, cappuccino, café com leite, caldo, colorífico, condimento, especiarias, conservas, temperos, mistura para bolo, salgadinhos e macarrão instantâneo.

A figura abaixo mostra a foto aérea da área da fábrica em questão, na sua totalidade.

Figura 15: Imagem aérea da Indústria de Alimentos situada no município de Lagarto / SE. (FONTE: GOOGLE, Maps).

4.2 METODOLOGIA APLICADA

Para o desenvolvimento deste trabalho, optou-se por utilizar pesquisas do tipo exploratória e descritiva. Para melhor compreensão, seguem as definições dos tipos de pesquisas utilizadas.

Quanto aos objetivos da pesquisa exploratória:

> *Visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assume, em geram as formas de Pesquisas Bibliográficas e Estudos de Caso. (*GIL, 2002).

Para a pesquisa descritiva, o autor classifica como sendo aquela que:

> *Visa descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática. Assume, em geral, a forma de Levantamento. (*GIL, 2002).

Para cumprir o objetivo de analisar a viabilidade técnica e econômica da captação e utilização da água da chuva a metodologia irá seguir os seguintes tópicos:

4.2.1 Aquisição e análise quantitativa de dados pluviométricos

Para análise quantitativa em relação as precipitações atmosféricas, foi realizado uma análise dos dados registrados no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Metrologia (INMET), levando em conta as médias pluviométricas histórica dos últimos onze anos completos do município de Itabaianinha (Apêndice 1), que fica no raio de 40 Km distante da cidade de Lagarto, como pode ser visto na imagem abaixo. A diferença máxima de elevação entre as duas cidades é de apenas 105 metros de acordo com o perfil de elevação, não sendo significativo para desprezar os dados obtidos pela estação meteorológica da cidade de Itabaianinha.

Estes dados serão utilizados no dimensionamento da área de captação e armazenamento da água da chuva, na previsão de custos de investimento e consequentemente na análise da viabilidade econômica.

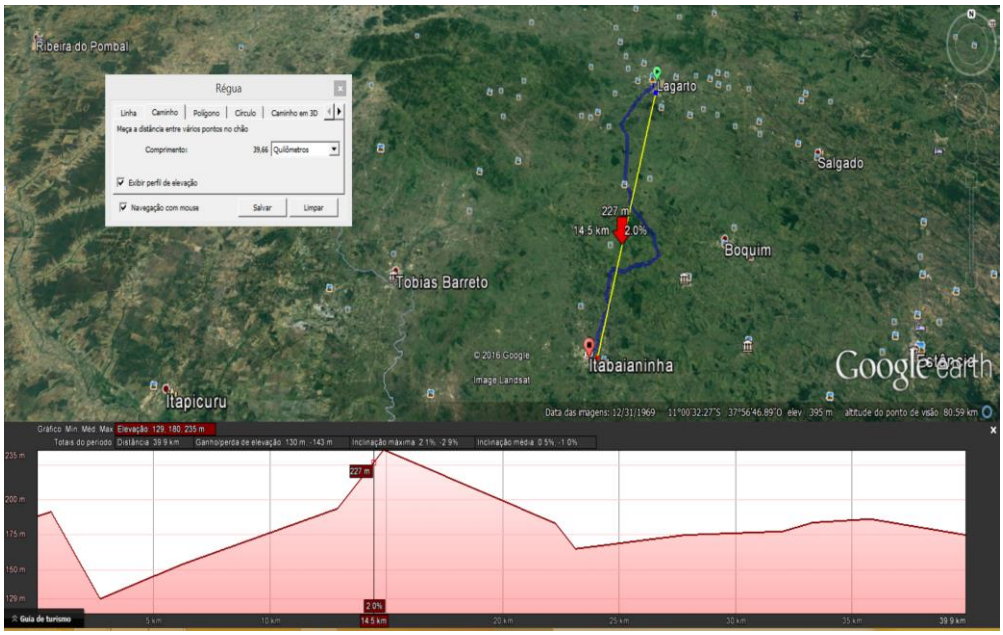


Figura 16Imagem de Satélite da distância entre as cidades de Itabaianinha e Lagarto. (FONTE: GOOGLE, Earth).

4.2.2 Sistemas de captação da água da chuva

Neste trabalho foram considerados dois métodos de captação de água da chuva a saber:

- Método Direto: Aquele em que a água da chuva é captada diretamente no reservatório, não sofrendo influência de fontes de impurezas como telhados, calhas, paredes, alvenarias e tubulações. É o método em que na teoria, tem-se a água de forma menos contaminada, porém tem a inconveniência de acumular um volume muito menor de água da chuva e continuar com um alto índice de não aproveitamento.
- Método Indireto: Esse método é aquele em que a água pluvial é captada através de telhados, calhas e até paredes, transportada por tubulações e armazenadas em reservatórios, nesse método a água sofre influências de fontes de impureza que podem carrear material que reduz a qualidade da água, em contrapartida é a forma que tem maior eficiência da captação, permitindo um mínimo de desperdício da água.

Esse trabalho avaliou os dois métodos de captação da água e verificou qual é mais aconselhado para o uso industrial, de acordo com a qualidade da água e o volume captado.

4.2.3 Métodos de coleta e Pontos de coleta para análise qualitativa da água da chuva

A água foi coletada em locais aleatórios na cidade de Lagarto e Aracaju, locais esses geolocalizados por GPS. A coleta foi efetuada empregando um funil e um coletor de amostras de polietileno sendo efetuada ao nível do solo para que seja simulado uma situação real da captação da água na indústria, onde partir-se-á da hipótese que não será efetuada uma filtração durante a captação da água e sim posterior a sua coleta.

Na coleta pelo método direto, a água da chuva foi coletada direto pelo funil de vidro e ficou armazenada no recipiente de polietileno com capacidade de um litro.

Na coleta pelo método indireto, a água foi coletada através de calhas, simulando uma cisterna. Neste caso os primeiros quinze minutos de chuva contínua foram aguardados para que fosse efetuada a limpeza do telhado e das calhas, posteriormente a coleta foi efetuada no recipiente de polietileno com capacidade de um litro. Isso foi realizado pois, de acordo com o trabalho de Annecchini (2005), percebeu-se que os primeiros dois milímetros da chuva têm parâmetros de qualidade significantemente inferior, o que justifica seu descarte (ANNECCHINNI, 2005).

Figura 17Esquema de Captação de água da chuva por calhas e telhados. (FONTE: Editora Amigos da Natureza, 2015).

A coleta foi efetuada em diferentes épocas do ano para obter análises referentes a épocas de chuva e épocas de seca e como essas estações interferem na qualidade da água da chuva.

Foi coletada um litro de amostra de cada método, em cada local e em cada um desses meses: Maio, Junho, Julho e Novembro de 2015 e nos meses de Janeiro, Fevereiro de 2016. Sendo assim, 3 meses de épocas com mais chuvas são eles: Maio, Junho e Julho e 3 meses de menos chuva, sendo eles: Novembro, Janeiro e Fevereiro. Totalizando assim 36 amostras.

Os locais de Coleta foram:

Cidade de Aracaju, Bairro Luzia coordenadas: 10°56'24.4"S e 37°04'17.1"W; Telhado Metálico

Cidade de Aracaju, Bairro Eduardo Gomes: 10°55'53.1"S e 37°07'08.9"W; Telhado Cerâmico

Cidade de Lagarto, Zona Rural, IFS Campus Lagarto, coordenadas: 10°56'20.8"S e 37°39'24.4"W; Telhado Cerâmico

4.2.4 Parâmetros Qualitativos para a análises da água coletada

Os parâmetros de qualidade analisados em todos os pontos e métodos de coletas foram os mesmos e estão listados na tabela abaixo.

Tabela 3: Parâmetros de Qualidade Adotados para água de chuva.

Físicos	Químicos	Eletroquímicos
Turbidez	Dureza Total	Oxigênio Dissolvic
	Dureza de Cálcio	Condutividade Elétr
	Dureza de Magnésio	Sólidos Totais Dissolvidos
	Acidez Total	pH
	Alcalinidade	
	Cloretos	
	Ferro Total	

.

Os parâmetros físico-químicos foram coletados em frascos esterilizados de polietileno com capacidade de um litro e em seguida encaminhados para o Laboratório Multidisciplinar do Convênio Petrobras com o IFS (Instituto Federal de Sergipe) no Campus Aracaju e para o Instituto de Tecnologia e Pesquisa – ITP, da Universidade Tiradentes – UNIT.

Todos os parâmetros qualitativos e quantitativos da tabela 3 foram analisados em laboratórios seguindo as normas do Standard Methods for the Examination of Waterand Wastewater.

Os resultados das análises são demonstrados em forma de tabela, separados por método, pontos de coleta e parâmetro analisado, com a proposta de verificar a existência de diferença significativa entre os métodos e os pontos de coleta.

Todos as análises foram efetuadas em triplicatas e os resultados apresentados em valor de média e desvio padrão.

Veremos agora os métodos utilizados em cada análise.

4.2.4.1 Análise de Turbidez

Foi utilizado o método da turbidimetria, que consiste basicamente em utilizar um equipamento denominado turbidímetro. A unidade da turbidez registrada no equipamento foi em uT (Unidade de Turbidez) que é uma unidade equivalente a NTU vista no capítulo 3, tópico 3.1.1.1.

4.2.4.2 Análise de Dureza

A dureza foi analisada através do método de volumetria por complexação, utilizando o EDTA com concentração de 0,01 mol/L (mol por litro) como agente titulante.

Para a preparação e padronização do EDTA 0,01 mol/L foi usado EDTA e água destilada fria.

Na padronização do EDTA, foi usado uma solução tampão de NH_3/NH_4Cl pH 10, solução padrão de $CaCO_3$ 0,01 mol/L e negro de eriocromo T / NaCl 1:99 como indicador.

A solução de NH3/NH4Cl (pH=10) foi obtida através da dissolução de Cloreto de Amônio (NH_4Cl) em Hidróxido de Amônio (NH_3) a 22%.

Na preparação da solução padrão de $CaCO_3$ 0,01 mol/L foi utilizado o $CaCO_3$(padrão primário), indicador vermelho de metila e HCl gota a gota para ajustar a solução.

Após a padronização a solução de $CaCO_3$ foi de 0,0100 mol/L.

Após a padronização o titulante EDTA ficou com concentração padrão de 0,0108 mol/L.

Dureza de Cálcio: Para a determinação da dureza de Cálcio, foi utilizado a solução de EDTA 0,0108 mol/L previamente padronizada, solução tampão de NaOH (pH=12) e como indicador foi usado murexida/NaCl 1:99.

Foi pipetado 50 ml da amostra e transferido para um erlenmeyer 250 mL, adicionado 1 mL de NaOH 1,0 mol/L (pH=12), 0,25g do indicador murexida e homogeneizado. Foi titulado com a solução padronizada de EDTA até a viragem de coloração de róseo em presença do íon metálico para violeta (roxo) no ponto final da titulação.

Dureza Total: Para a determinação da dureza total, foi utilizado a solução de EDTA 0,0108 mol/L previamente padronizada, solução tampão de NH3/NH4Cl (pH=10) e como indicador foi usado negro de eriocromo T/NaCl 1:99.

Foi pipetado 50 ml da amostra e transferido para um erlenmeyer de 250 mL, adicionado 1 mL de NH3/NH4Cl (pH=10), 0,25g do indicador negro de eriocromo T e homogeneizado. Foi titulado com a solução padronizada de EDTA até a viragem de coloração de vermelho-vinho em presença do íon metálico para azul no ponto final da titulação.

Os cálculos utilizados na determinação da dureza foram:

Dureza Total

$$\text{Dureza Total}_{\text{mg/L CaCO3}} = \frac{(\text{MEDTA x VEDTA gasto x 100.000})}{\text{Vamostra}}$$

Dureza do Cálcio

$$\text{Dureza do Cálcio}_{\text{mg/L CaCO3}} = \frac{(\text{MEDTA x VEDTA gasto x 100.000})}{\text{Vamostra}}$$

Dureza do Magnésio

$$\text{Dureza do Magnésio}_{\text{mg/L CaCO3}} = \text{Dureza Total}_{\text{mg/L CaCO3}} - \text{Dureza do Cálcio}_{\text{mg/L CaCO3}}$$

Onde:

M_{EDTA} = concentração em mol/L do EDTA.

$V_{EDTA\ gasto}$ = volume do EDTA gasto em mL.

$V_{amostra}$= volume da amostra em mL.

4.2.4.3 Análise da Acidez

A acidez total e carbônica é analisada através do método de volumetria de neutralização, utilizando uma solução padrão de hidróxido de sódio (NaOH) 0,02 mol/L como titulante e fenoftaleína 1% como indicador.

Para a preparação da solução de NaOH 0,02 mol/L foi utilizado água destilada previamente fervida e uma certa massa de NaOH previamente calculada.

Para a padronização da solução de NaOH 0,02 mol/L deve ser utilizada uma certa massa calculada de biftalato de potássio, previamente seca em estufa, e o indicador fenoftaleína.

Após a padronização a concentração da solução de NaOH foi de 0,0208 mol/L.

Acidez Total: Foi transferido 50 ml da amostra para um erlenmeyer de 250 ml, foi adicionado 3 gotas de fenoftaleína 1%, caso a amostre continuasse incolor, ela é titulada com hidróxido de sódio até o aparecimento da cor rosa persistindo por no mínimo 30 segundos e anota-se o volume total de NaOH gasto. Se ao adicionar as 3 gotas de fenoftaleína aparecer uma coloração rosa, considere a acidez total igual a zero.

Acidez Carbônica: Foi transferido 50 ml da amostra para um erlenmeyer de 250 ml e submetido à fervura em chapa elétrica por 3 minutos, logo após o aquecimento, foi retirado o erlenmeyer da chapa e cobriu-o com o vidro de relógio para deixar a amostra resfriar. Após seu resfriamento, foi adicionado 3 gotas de fenoftaleína 1%, e observando mudança na coloração para rosa, considera-se a análise concluída e toda acidez anteriormente encontrada como sendo acidez carbônica. Se a amostra permanecer incolor, titular com NaOH padronizado até aparecer a coloração rosa permanente e anotar o volume gasto.

Os cálculos são efetuados através das seguintes fórmulas:

Acidez Total

$$\text{Acidez Total}_{\text{mg/L CaCO3}} = \frac{(\text{MNaOH x VNaOH gasto x 50.000})}{\text{Vamostra}}$$

Acidez Carbônica

$$\text{Acidez Carbônica}_{\text{mg/L CaCO3}} = \text{Acidez total} - \frac{(\text{MNaOH x VNaOH gasto x 50.000})}{\text{Vamostra}}$$

Onde:

M_{NaOH} = concentração em mol/L do hidróxido de sódio.

$V_{NaOH\ gasto}$ = volume do hidróxido de sódio gasto em mL.

$V_{amostra}$= volume da amostra em mL

Os resultados de acidez das amostras são expressos em mg/L de $CaCO_3$.

4.2.4.4 Alcalinidade

A alcalinidade foi determinada através do método de volumetria de neutralização, usando como titulante uma solução de ácido clorídrico (HCl) 0,02 mol/L, utilizando como indicador a fenoftaleína 1%, que indica a alcalinidade através da mudança na coloração na presença de hidróxidos e carbonatos, e alaranjado de metila 0,05% que indicar a alcalinidade através da mudança na coloração na presença de bicarbonatos.

Para a preparação da solução de HCl 0,02 mol/L foi calculado primeiramente o volume de ácido concentrado necessário para preparar um certo volume da solução de concentração 0,02 mol/L utilizando a capela.

Para a padronização da solução de ácido clorídrico foi necessário utilizar um padrão primário Na_2CO_3 de massa Na_2CO_3 previamente calculada e o indicador alaranjado de metila 1%, posteriormente titulou-se a solução de carbonato de sódio com a solução de ácido clorídrico e calculado o fator de correção.

Após a padronização a solução de HCl ficou com concentração 0,0174 mol/L.

Alcalinidade com Fenoftaleína: A titulação com fenoftaleína (pH de viragem 8,4) indica alcalinidades de hidríoxidos e carbonatos.

Transferiu-se primeiramente 50 ml da amostra para um erlenmeyer de 250 ml e adiciona 2 gotas do indicador fenoftaleína. Aparecendo cor, titula-se com o ácido clorídrico padronizado até o desaparecimento da coloração rosa e anota-se o volume parcial gasto P e continuando assim com a titulação com o alaranjado de metila. Não aparecendo cor, continua a titulação com o alaranjado de metila

Alcalinidade com Alaranjado de Metila: A titulação com alaranjado de metila (pH de viragem 4,4) indica alcalinidades de bicarbonatos. Adicionou-se primeiramente 5 gotas do indicador à solução incolor obtida no processo anterior, titulando-se com ácido clorídrico padronizado até a coloração ficar amarelo alaranjada e anotado o volume total gasto.

Para realizar os cálculos utilizou-se a tabela e as fórmulas abaixo:

Tabela 4: Tabela de Alcalinidades devido a hidróxidos, carbonatos ou bicarbonatos.

RESULTADO	ALCALINIDADES		
	OH^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-
P=0	Zero	Zero	T
P< T/2	Zero	2P	T - 2P
P= T/2	Zero	2P= T	Zero
P> T/2	2P – T	2(T - P)	Zero
P= T	T	Zero	Zero

$$\text{Alcalinidade Total/Parcial}_{\text{mg/L CaCO3}} = \frac{(\text{MHCl x VHCl gasto x 50.000})}{\text{Vamostra}}$$

M_{HCl} = concentração em mol/L do ácido clorídrico.

$V_{HCl\ gasto}$ = volume do ácido clorídrico gasto em mL, de acordo com a tabela.

$V_{amostra}$= volume da amostra em mL.

A unidade de alcalinidade é dada em mg/L (ppm) de $CaCO_3$.

4.2.4.5 Cloretos

A análise de coletos foi efetuada através da volumetria de precipitação, utilizando o método de Mohr.

O método de Mohr é aplicável à determinação de cloreto ou brometo. A solução neutra do haleto é titulada com solução padrão de nitrato de prata na presença de cromato de potássio como

indicador. Os haletos são precipitados como sais de prata: o cloreto de prata é branco e o brometo de prata branco-amarelado. O ponto final é assinalado pela formação de cromato de prata, vermelho. O método baseia-se na precipitação fracionada, pois, precipita-se primeiro o cloreto de prata (AgCl) e, depois, o cromato de prata (Ag_2CrO_4).

Foi utilizado como agente titulante a solução padrão de nitrato de prata ($AgNO_3$) de concentração 0,05 mol/L e como indicador foi utilizado a solução de cromato de potássio (K_2CrO_4) 5%.

Para a preparação da solução de $AgNO_3$ 0,05 mol/L foi utilizado uma certa massa previamente calculada de nitrato de prata e água destilada para dissolver o sal, depois a mesma foi armazenada em frasco escuro ao abrigo da luz.

Para a padronização foi utilizado o padrão primário NaCl previamente seco em estufa a 110°C por 1 a 2 horas e como indicador a solução de cromato de potássio 5%. Após a padronização a solução de nitrato de prata ficou com concentração de M($AgNO_3$) = 0,0500 mol/L.

Foi pipetado 50 mL da amostra de água e transferida para um erlenmeyer de 125mL. Adicionou-se 1 mL de indicador cromato de potássio a 5% e titulado com a solução de nitrato de prata 0,0500 mol/L padronizada até aparecimento do precipitado de coloração avermelhada. Foi usado um fundo branco sob o erlenmeyer para facilitar a visualização da viragem do indicador.

Os cálculos foram efetuados de acordo com a fórmula.

Cloretos em ppm na amostra de água

$$\text{Cloretos mg/L } Cl^- = \frac{(\text{MAgNO3 x V AgNO3 gasto x 35.500})}{\text{Vamostra}}$$

Onde:

M_{AgNO3} = concentração em mol/L do $AgNO_3$.

$V_{AgNO3\ gasto}$ = volume do $AgNO_3$ gasto em mL.

$V_{amostra}$= volume da amostra em mL.

4.2.4.6 Ferro Total

O ferro total foi analisado através do método de espectofotometria, onde o ferro presente em solução é reduzido previamente com cloridrato de hidroxilamina em meio de ácido clorídrico. Em seguida reage com solução de 1,10-fenantrolina em pH 3,2-3,3. Três moléculas de fenantrolina formam quelato com cada cátion de ferro II produzindo um complexo laranja avermelhado. A cor

da solução obedece a Lei de lambert-Beer em 510 nm. São interferentes na análise: oxidantes fortes, cianeto, nitrito, fosfatos, cromo, zinco em concentrações 10 vezes superior à concentração de ferro, cobalto e cobre em excesso de 5 mg/L, níquel em excesso de 2 mg/L. Bismuto, cádmio mercúrio, molibdato e prata são precipitados com ortofenantrolina.

Concentração mínima detectável: 10 μg/L de Ferro com cubeta de 5 cm. Um branco deve ser realizado em paralelo com as amostras e padrões para zeragem do espectrofotômetro uma vez que os reagentes apresentam pequenas concentrações de ferro.

Esta prática prescreve o método colorimétrico da ortofenantrolina para a determinação de ferro total, ferro férrico e ferro ferroso em amostras de águas naturais, águas minerais, de abastecimento, domésticas e industriais.

Este método aplica-se para determinação das diversas formas de ferro em concentrações de 0,02 mg/L a 4,0 mg/L.

4.2.4.6.1 Análise da Amostra

4.2.4.6.1.1 Análise de Ferro Total

Agitou-se a amostra rigorosamente e pipetou-se 50 ml dela e 50 ml de água deionizada para dois béqueres de 100 ml, adicionando em cada béquer 2 ml de HCl concentrado e 1 ml de solução de cloridrato de hidroxilamina. Aqueceu até a ebulição para assegurar a dissolução de todo o ferro reduzindo o volume a metade. Deixar esfriar.

Transferiu-se a amostra e o branco dos béqueres para dois balões volumétricos de 100 ml. Adicionando 10 ml de solução tampão de acetato de amônio pH 4,5. Acrescentou 2 ml da solução de ortofenantrolina e completou o volume do balão com água deionizada. Foi aguardado 15 minutos até o desenvolvimento completo da cor. Selecionado o comprimento de onda de 510nm, o equipamento apresenta os valores da absorbância.

4.2.4.7 Oxigênio Dissolvido

Foi utilizado o método potenciométrico, utilizando um equipamento denominado oxímetro, descrito no tópico 3.2.1.3, o qual foi calibrado usando-se uma solução de sulfito de sódio para calibração do OD zero e água aerada e refrigerada para a calibração do valor de saturação. A unidade utilizada no medição do oxigênio dissolvido foi mg/L.

4.2.4.8 Condutividade Elétrica

Foi utilizado um equipamento denominado condutivímetro, da marca DEL LAB e modelo DL -150, que segue os mesmos princípios descritos no tópico 3.2.1.4, e que encontra-se em imagem baixo.

O equipamento foi utilizado de acordo com o seu manual de instruções e previamente calibrado com a soluço padrão que o acompanha.

A unidade utilizada foi a mesma utilizada pelo Sistema Internacional (SI) que é o Siemens por centímetro (S/cm) a uma temperatura padronizada de 25 graus Celsius (25 °C).

Figura 18: Foto do condutivímetro utilizado.

4.2.4.9 Sólidos Totais Dissolvidos

Foi utilizado o mesmo aparelho da condutividade elétrica sendo que o próprio equipamento faz a conversão necessária para que seja apresentado o parâmetro desejado. Foi selecionado a opção de visualizar a quantidade de sólidos totais dissolvidos que é apresentada na unidade de mg/L.

4.2.4.10 pH

Foi utilizado o método potenciométrico, descrito no tópico 3.2.1.3, através de um equipamento denominado peagâmetro, de marca DEL LAB e modelo DLA - pH, que segue os mesmos princípios descritos no tópico 3.2.1.3, e que se encontra em imagem a seguir.

O equipamento foi previamente calibrado com a soluções tampão de pH 7,0 e pH 4,0.

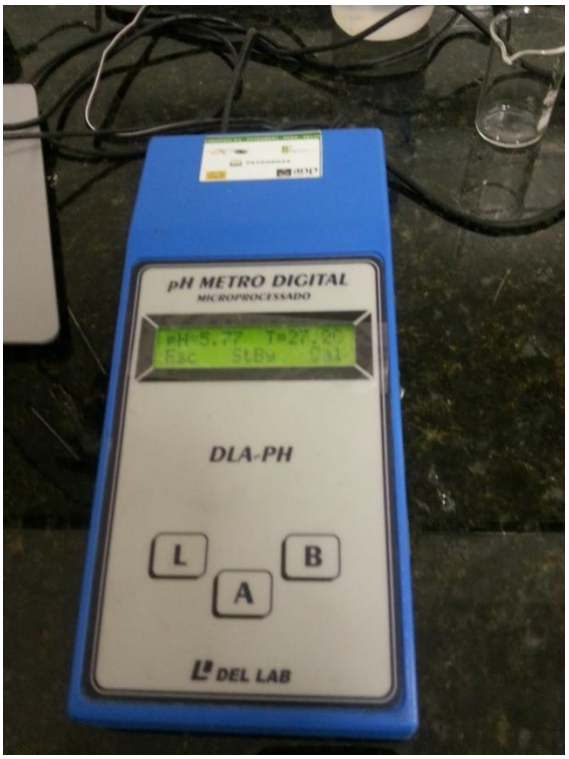


Figura 19: Foto do peagâmetro digital utilizado.

4.2.5 Análises Estatísticas dos Dados

Na análise estatística, os testes e os gráficos foram feitos através do software Prism 5.0 da GraphPad. Para o teste diferença mínima significante (DMS), utilizou um valor p igual a 0,05 (p=5%) e foram utilizados os testes de t-student para a comparação de somente duas variáveis e o teste de tukey para a comparação de múltiplas variáveis.

Uma diferença é considerada significativa quando o módulo do valor das diferenças entre duas médias for igual ou maior do que a diferença mínima significante (DMS), as médias estabelecidas são então consideradas estatisticamente diferentes, ao nível de significância estabelecida. (VIEIRA & HOFFMANN, 1989).

Foi utilizado no software a análise de variância com um fator (one-way ANOVA) e os gráficos utilizados foi o gráfico de dispersão.

4.2.6 Comparação dos Dados

Os dados obtidos através das análises da seção anterior vão ser comparados com os parâmetros determinados pela ASME (Associação Americana dos Engenheiros Mecânicos) e com os parâmetros da água bruta utilizada na indústria de alimentos em Lagarto. Desta forma, pode se quantificar a economia gerada com tratamento de água através do uso da água de chuva devido a sua qualidade superior.

Os dados serão apresentados sob forma de gráficos no capítulo de resultados e discussões. As discussões serão apresentadas comparadas com os resultados obtidos através de outros trabalhos de análises de águas pluviais e também em relação aos resultados encontrados nessa pesquisa.

4.2.7 Análise da Viabilidade Econômica

A análise econômica será efetuada através dos modelos e métodos descritos nos subtópicos do tópico 3.1, analisando o valor gasto com o investimento efetuado na construção e adaptação do sistema de captação e armazenamento de água pluvial da indústria, bem como o valor economizado com o uso de água de outorga e o valor gasto com o tratamento da água bruta hoje utilizada. Esses valores serão calculados de acordo com os métodos presentes no capítulo 3 e apresentados em tabela, onde será avaliado se o investimento irá gerar retorno, e em caso positivo, em quanto tempo será obtido esse retorno financeiro.

O modelo utilizado será o Modelo de Desconto de Fluxo de Caixa (DFC), e as técnicas utilizadas serão o Valor Presente Líquido, a Taxa Interna de Retorno, a Relação Custo Benefício e o Período de Payback Descontado.

Para a avaliação da viabilidade econômica também serão utilizados os resultados obtidos nos tópicos anteriores como: Aquisição e análise quantitativa de dados pluviométricos; Sistemas de captação da água da chuva; Parâmetros Qualitativos e Quantitativos para a análises da água coletada.

Serão utilizados ainda os conceitos constantes no tópico 1.5 no que diz respeito a: vazão na calha; dimensionamento da calha; dimensionamento do reservatório e custo total do reservatório, de acordo com a NBR 15.527/07.

4.2.8 Análise da Viabilidade Técnica e Sustentável

A análise da viabilidade Técnica será efetuada de acordo com os parâmetros obtidos com as análises da água efetuadas através dos métodos que contam no tópico 4.2.4, com a comparação efetuada de acordo com o tópico 4.2.5 e de acordo com a análise quantitativa da pluviometria que consta no tópico 4.2.1.

A análise da sustentabilidade será efetuada levando em consideração o volume de água de boa qualidade para consumo humano que será reduzido, empregos que podem ser gerados, amenização de riscos de enchentes e a contribuição com o objetivo 6 dos "17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável" que é "garantir disponibilidade e manejo sustentável da água".

CAPÍTULO V

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 RESULTADO DA ANÁLISE QUANTITATIVA DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Como resultado da análise quantitativa dos dados pluviométricos, obteve-se a média de precipitação mensal dos últimos onze anos, a média anual e a média geral.

Gráfico 1: Gráfico da média mensal da precipitação em Itabaianinha em 11 anos (FONTE: BDMEP/INMET, 2016).

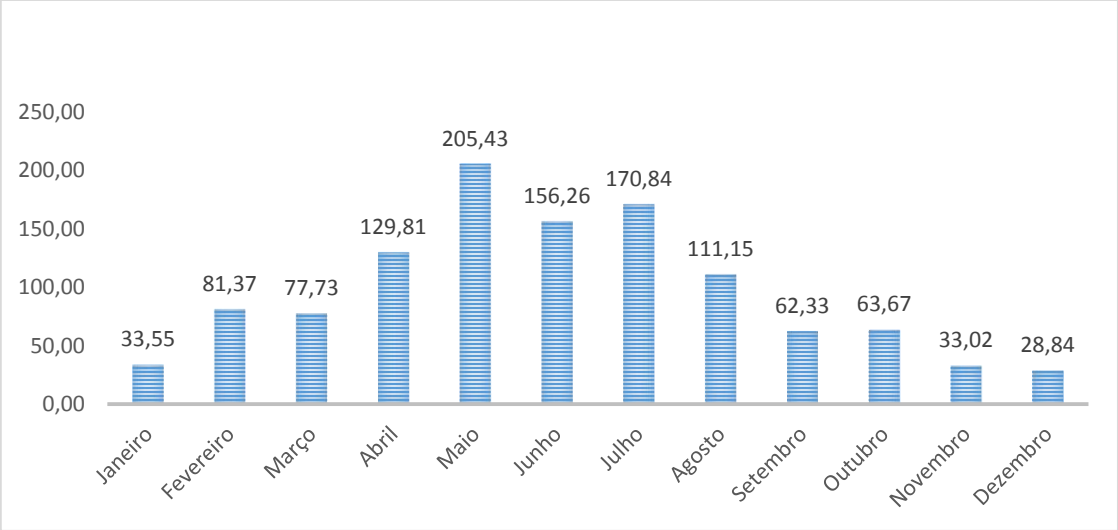
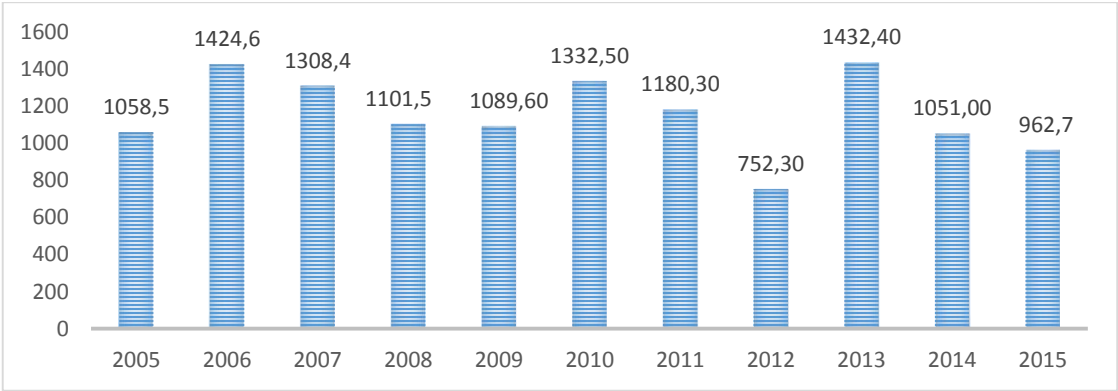


Gráfico 2: Média Anual de precipitação da cidade de Itabaianinha. (FONTE: BDMEP/INMET, 2016).



De acordo com os dados, temos como média geral um valor de mil cento e cinquenta e três milímetros e noventa e oito centésimos de milímetro de precipitação anual (1153,98 mm/ano). Isso quer dizer que de acordo com os 11 anos pesquisados, chove em média 1153,98 milímetros por

ano na cidade de Itabaianinha onde fica a estação meteorológica (OM: 83195), operante desde 06/08/1923 e a mais próxima da cidade de Lagarto, tendo um raio de distância inferior a 40 Km, podendo esse valor ser utilizado também para a cidade de lagarto.

Através desses gráficos, percebe-se que os meses mais chuvosos, com precipitação mensal acima de 150 mm, são os meses de Maio, Junho e Julho e os menos chuvosos são os meses de Novembro, Dezembro e Janeiro, chovendo menos que 35 mm/ano. Pode-se assimilar com o gráfico 2 acima, que se chove em média acima de 1.000 mm por ano com algumas variações para mais e para menos, tendo como ano mais chuvoso o ano de 2013 onde choveu 1.432,40 mm/ano e como ano de menor chuva o ano de 2012, chovendo apenas 752,30 mm/ano.

5.2 RESULTADO DA ANÁLISE DOS SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA

De acordo com os resultados obtidos através das análises quantitativas e separando-os simplesmente pelo método direto e indireto, foi criada a tabela abaixo.

Tabela 5: Parâmetros da água da chuva coletada pelo método direto e indireto.

Parâmetros	Média Geral M.D	Desvio Padrão	Parâmetros	Média Geral M.I	Desvio Padrão
pH	6,130	0,387	pH	6,195	0,650
Alcalinidade (ppm $CaCO_3$)	4,152	2,291	Alcalinidade	8,932	1,412
Acidez Total (ppm $CaCO_3$)	5,182	1,718	Acidez Total	6,361	2,275
Condutividade (µS/cm)	17,616	5,421	Condutividade	88,622	126,599
STD (ppm)	8,652	2,662	STD	45,147	65,231
Dureza Total (ppm CaCO3)	3,287	0,523	Dureza Total	8,725	3,285
Dureza de Cálcio (ppm CaCO3)	2,448	0,498	Dureza de Cálcio	3,221	1,427
Dureza de Magnésio (ppm CaCO3)	0,839	0,221	Dureza de Magnésio	5,504	2,257
Cloretos (ppm Cl^-)	3,214	1,714	Cloretos	21,572	29,889
Ferro Total (ppm de Fe^{++})	0,000	0,000	Ferro Total	0,000	0,000
Turbidez (uT)	1,152	0,443	Turbidez	1,431	0,619
Oxigênio Dissolvido (ppm)	6,934	1,593	Oxigênio Dissolvido	8,902	0,096

De forma geral percebe-se que a água da chuva coletada pelo método indireto, através de calhas e telhados, é de qualidade inferior que as coletadas pelo método direto. Pode-se verificar isso pelos parâmetros analisados onde tem-se maior alcalinidade, condutividade, sólidos totais dissolvidos, dureza total, cloretos, turbidez e oxigênio dissolvido.

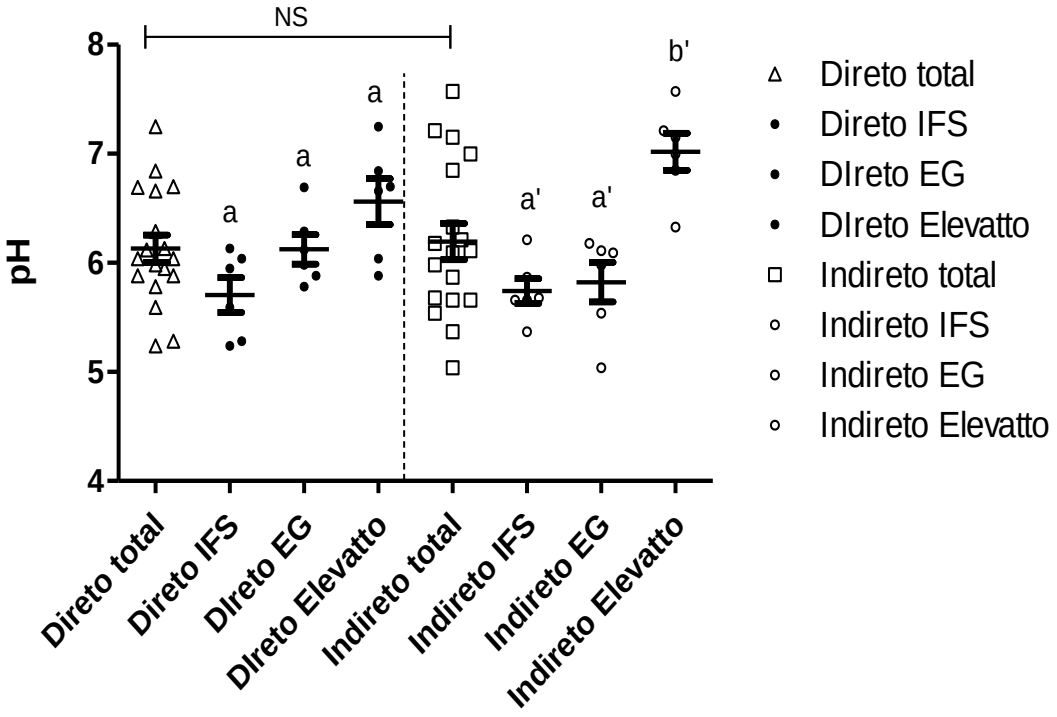
O desvio padrão nos mostra que o método indireto tem variações maiores nos parâmetros que o método direto. Isso se dá pelo fato de que as condições do telhado, da calha, enfim, dos locais que entram em contato com a água influenciam na sua qualidade, variando bastante os seus parâmetros de acordo com as condições dos locais por onde ela escoou. O método direto, por sua vez, não sofre muito com essa influência, pois é coletada diretamente no recipiente, assim os parâmetros são mais constante e consequentemente o desvio padrão é menor.

Nos gráficos a seguir onde lê-se:

- Direto total: dados referentes a todos os valores do parâmetro coletados pelo método direto;
- Direto IFS: dados referentes aos valores do parâmetro no método direto coletado no Instituto Federal de Sergipe Campus Lagarto;
- Direto EG: dados referentes aos valores do parâmetro no método direto coletado no Bairro Eduardo Gomes na região metropolitana de Aracaju;
- Direto Elevatto: dados referentes aos valores do parâmetro no método direto coletado no Condominio Elevatto na cidade de Aracaju;
- Indireto total: dados referentes a todos os valores do parâmetro coletados pelo método indireto;
- Indireto IFS: dados referentes aos valores do parâmetro no método indireto coletado no Instituto Federal de Sergipe Campus Lagarto;
- Indireto EG: dados referentes aos valores do parâmetro no método indireto coletado no Bairro Eduardo Gomes na região metropolitana de Aracaju;
- Indireto Elevatto: dados referentes aos valores do parâmetro no método indireto coletado no Condominio Elevatto na cidade de Aracaju;

5.2.1 pH

Gráfico 3: Relação do pH pelo método Direto e Indireto

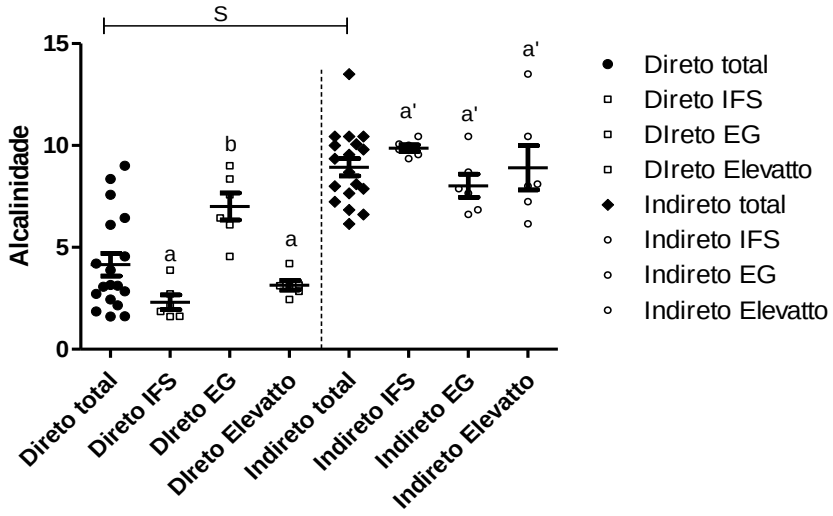


O pH médio das amostras mostra-se ligeiramente ácido pH = 6,162, sendo que nas amostras coletadas pelo método direto a média é pH = 6,130 e as do método indireto a média é pH = 6,169. Considerando os desvios padrões, podemos dizer que as amostras não tiveram diferenças significativas no valor médio do pH das amostras coletadas pelo método direto e indireto, porém, percebe-se um leve aumento no pH do método direto, este aumento também ocorreu no trabalho de outros autores como Jaques (2005) que verificou este aumento e identificou que era devido principalmente pela presença dos gases dissolvidos que reagem com a água formando ácidos.

Segundo o autor, isso ocorre principalmente em centros urbanos devido a queimas dos combustíveis fósseis e pelos gases expelidos pelas indústrias. O pH das análises coletadas pelo método indireto é maior devido ao carreamento de material e dissolução desses na água que vai acumulando partículas o que faz com que seu pH aumente.

5.2.2 Alcalinidade

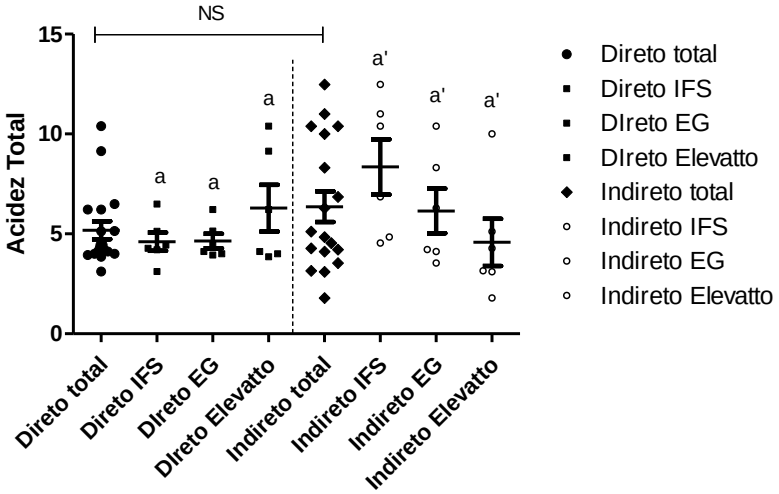
Gráfico 4: Relação da alcalinidade pelo método Direto e Indireto.



A **alcalinidade** das análises do método direto também é menor que a alcalinidade das análises do método indireto, o que está de acordo com o pH menor. A composição química, assim como os poluentes presentes na água influenciam na alcalinidade da mesma, dessa forma é compreensível esse valor ser maior no método indireto, tendo em vista que a água sofre influência da superfície que escoa assim como os poluentes.

5.2.3 Acidez Total

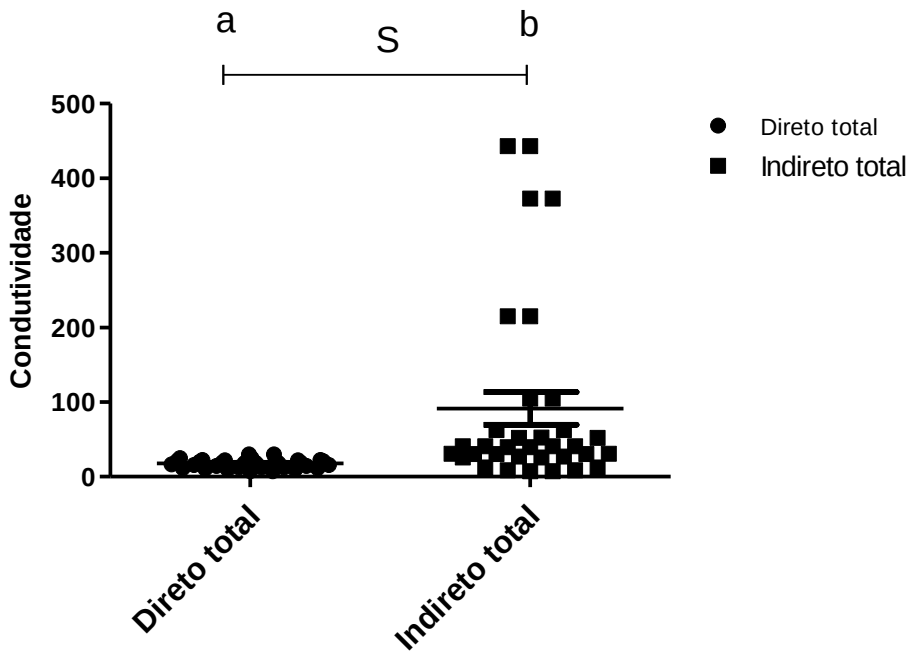
Gráfico 5: Relação da acidez total pelo método Direto e Indireto.



A **acidez total** das análises do método direto também é menor que a alcalinidade das análises do método indireto, porém ao contrário do que ocorre na alcalinidade essa diferença entre os métodos não é significativa, tendo em vista os valores médios e os desvios padrões das amostras. A gases dissolvidos são os principais fatores que influenciam na acidez total. Entre eles temos o gás carbônico dissolvido que é o principal contribuinte para a elevação da acidez nas águas.

5.2.4 Condutividade

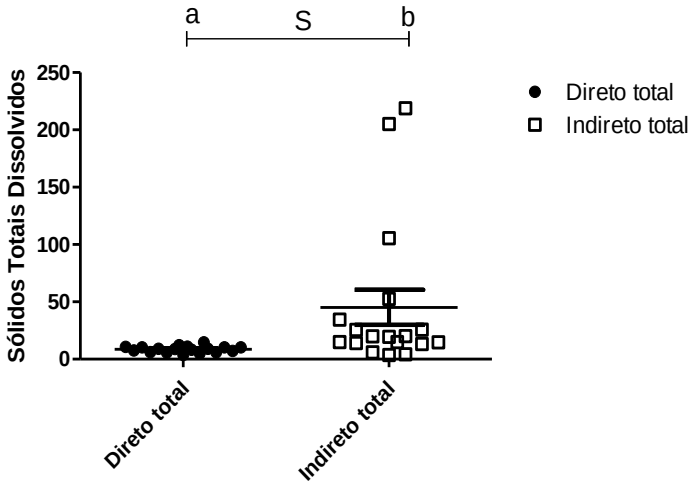
Gráfico 6: Relação da condutividade pelo método Direto e Indireto.



É na **condutividade,** que temos uma das maiores variações entre os métodos direto e indireto tanto na média quanto nos desvios padrões. Temos no método indireto um valor maior e de desvio padrão muito maior, isto também ocorre nos trabalhos realizados por Hangemann (2009), Jaques (2005) e Araújo, Reis e Rocha (2009), podendo ser explicado pelo fato de que os locais por onde a água escoa influencia bastante na sua qualidade, adicionando a ela substâncias que se dissolvem e aumentam sua condutividade elétrica. No método indireto a condutividade teve um desvio padrão de 126,599 enquanto que no método direto teve um desvio padrão de 5,421 isso mostra o quanto a condutividade é bastante influenciada pelas substâncias presentes nos locais por onde a água escoa.

5.2.5 Sólidos Totais Dissolvidos

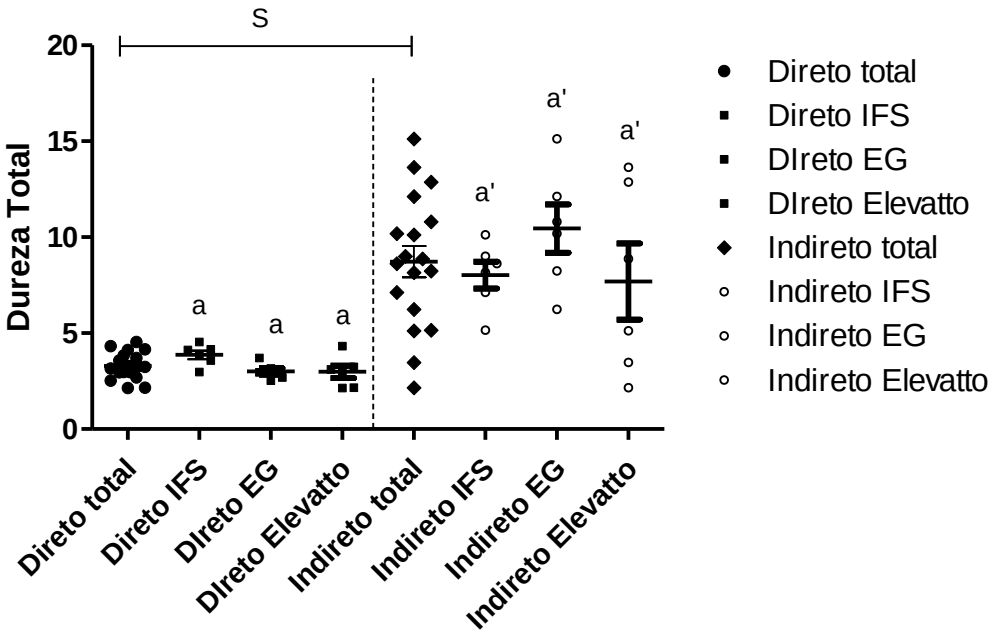
Gráfico 7: Relação dos STD pelo método Direto e Indireto.



A quantidade de **sólidos totais dissolvidos** é obtida através do valor da condutividade elétrica e, portanto, as considerações e as influências são as mesmas da condutividade.

5.2.6 Dureza Total, de Cálcio e de Magnésio

Gráfico 8: Relação dos Dureza Total pelo método Direto e Indireto.



A **dureza total,** de forma geral, teve valores baixos quando comparados inclusive com a portaria 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde que admite como dureza máxima permitida para água potável como sendo 500 ppm de $CaCO_3$(mg/L de $CaCO_3$). Como era de se esperar, as durezas totais das análises das coletas feitas pelo método direto tiveram valores abaixo das amostras coletadas pelo método indireto, com valores de desvios padrões muito menos significativos, tendo em vista que o método direto sofre menos influência de contaminantes. O mesmo pode ser verificado nos trabalhos de Hangemann (2009), Jaques (2005) e Araújo, Reis e Rocha (2009). No método direto, a **dureza de cálcio** (gráfico 9) é mais significativa na contribuição para a dureza total contribuindo com 74,47% da dureza total, enquanto que no método indireto a contribuição da dureza de cálcio e a de magnésio foram mais próximas, sendo a **dureza de magnésio** (gráfico 10) mais significativa, contribuindo com 63,08%. Esses resultados também foram encontrados no trabalho de Hagemann (2009), onde foi encontrado nas análises pela coleta indireta valores bem superiores aos encontrados pela coleta direta, sendo que na coleta direta a dureza média ficou entre 1,1 a 7,4 mg/L de $CaCO_3$ enquanto na coleta indireta a dureza ficou entre 33,5 a 52,1 mg/L de $CaCO_3$.

Gráfico 9: Relação dos Dureza de cálcio pelo método Direto e Indireto.

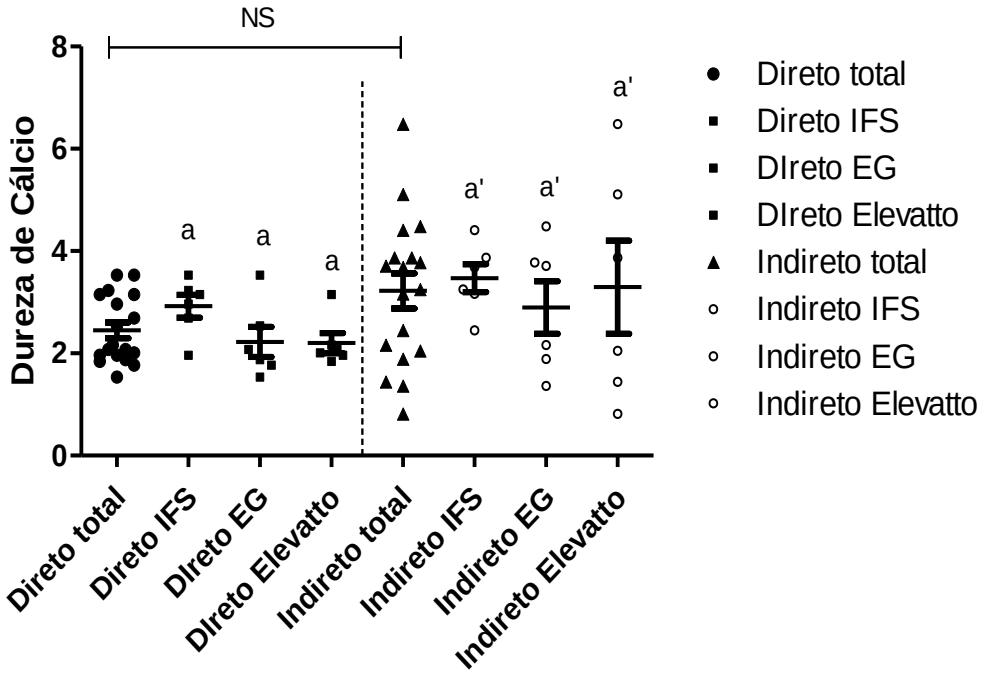
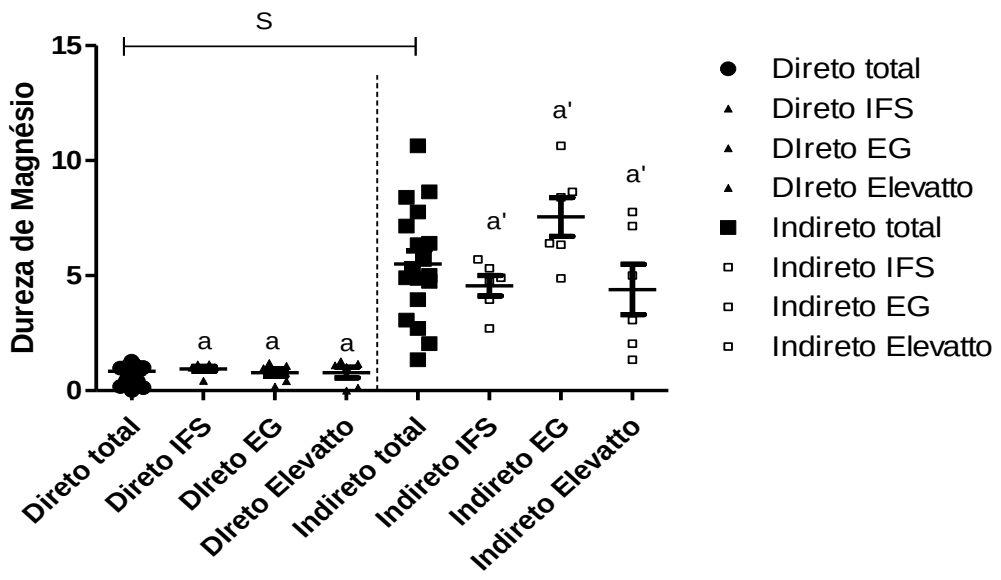
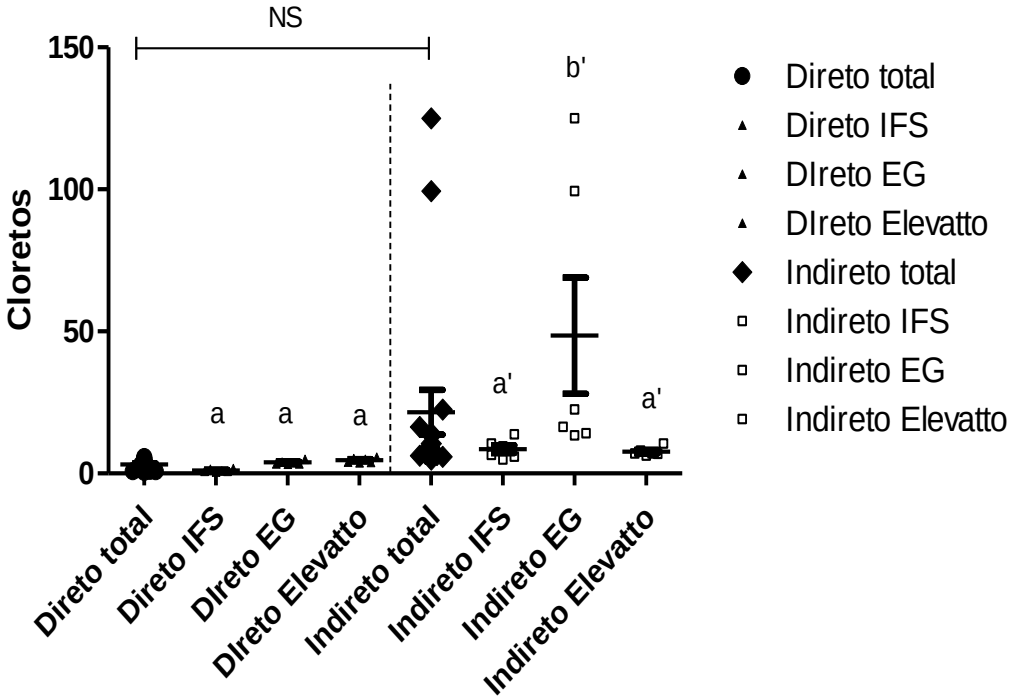


Gráfico 10: Relação dos Dureza de magnésio pelo método Direto e Indireto.



5.2.7 Cloretos

Gráfico 11: Relação dos cloretos pelo método Direto e Indireto.



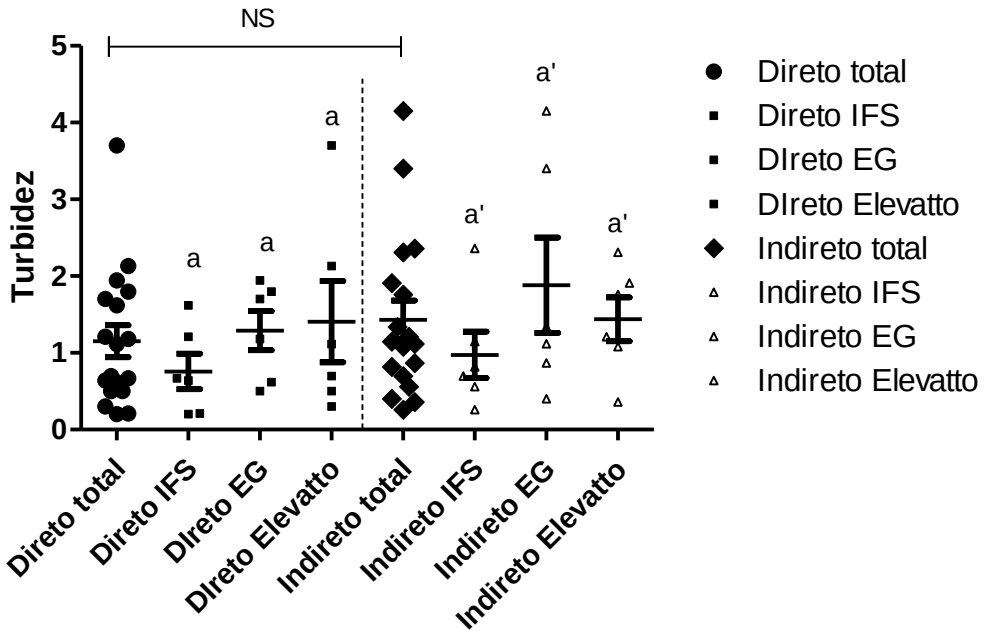
Os **cloretos,** em todas as amostras tiveram valores abaixo do valor máximo permitido pela portaria 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde, que admite como quantidade máxima de cloretos 250 mg/L. A água da chuva coletada pelo método direto tem valores abaixo que a coletada pelo método indireto, isso também ocorreu no trabalho de Jaques (2005) e já era esperado pois, segundo o mesmo autor, as águas que passam por telhados e calhas sofrem a influência dos sais que são depositados nessas superfícies devido a maresia, tanto que aquelas águas coletadas após um longo período de chuvas tem valores geralmente abaixo daquelas coletadas em períodos de pouca chuva.

5.2.8 Ferro Total

O **ferro total,** não foi encontrado em nenhuma das amostras analisadas e em nenhum dos dois métodos de coleta.

5.2.9 Turbidez

Gráfico 12: Relação da turbidez pelo método Direto e Indireto.

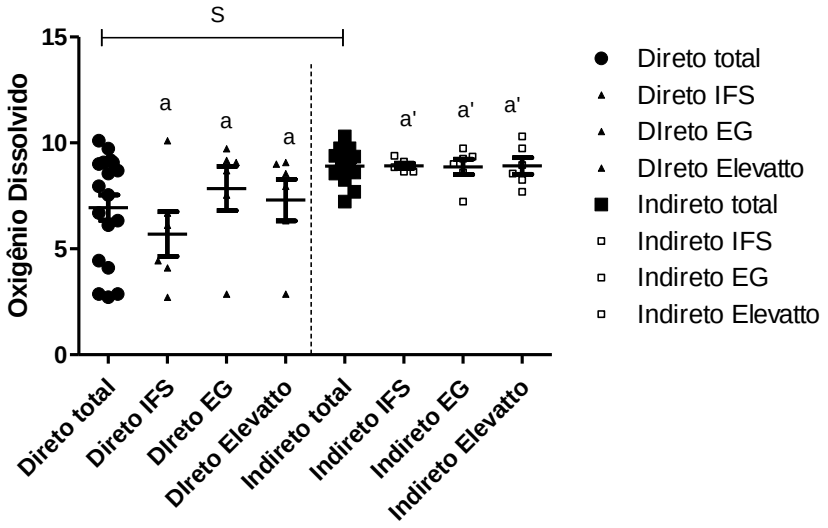


A **turbidez,** nos dois métodos de coleta foram relativamente baixas quando comparadas com a portaria 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde, que admite como valor máximo para turbidez como 5 uT. A turbidez da água coletada pelo método direto (1,152 uT) é inferior que a coletada

pelo método indireto (1,431 uT), o que aceitável tendo em vista que a água que não sofre interferência das superfícies não sofre muita adição de contaminantes. Os valores da turbidez em geral também são em média inferiores ao das análises realizadas por JAQUES (2005) em sua dissertação, onde encontrou valores médios entre 4,26 a 15,92. Enquanto nas análises realizadas neste trabalho foram encontrados valores entre 0.2 a 3.7 para o método direto e entre 0,26 a 4,15 para o método indireto, esses valores podem ser encontrados no apêndice A.

5.2.10 Oxigênio Dissolvido

Gráfico 13: Relação do oxigênio dissolvido pelo método Direto e Indireto.



O **oxigênio dissolvido,** assim como os outros parâmetros encontrou no método direto valores significantemente maiores que no método indireto, sendo no método direto 28,38% inferior que no método direto. O desvio padrão por sua vez, no método direto foi muito superior ao do método indireto, diferente do que ocorreu em outros parâmetros, mostrando que as condições do sistema de escoamento e captação não tem muita influência sobre esse parâmetro.

5.2.11 Disposições Gerais

De modo geral, podemos perceber que as diferenças na qualidade das águas coletadas pelos dois métodos não são muito diferentes, sendo como esperado, que a qualidade do método direto

superior, porém não de forma tão significativa ao ponto de descartar-se o uso do método indireto, tendo em vista que sua eficiência na captação da água é muito superior.

5.3 RESULTADOS QUANTITATIVOS DOS PARÂMETROS DA ÁGUA DA CHUVA

Os resultados obtidos com as análises qualitativas dos parâmetros da água pluvial, serão apresentados e discutidos na seguinte ordem: primeiramente será mostrado a média geral dos parâmetros obtidos com todas as análises; posteriormente serão apresentados as médias obtidas em cada ponto de coleta, de acordo com o método de captação; por último será apresentado a forma mais detalhada de apresentação dos dados que é através da média dos resultados obtidos pelas análises dos dados por ponto de coleta, método de captação e estação do ano chuvosa e de pouca chuva.

A tabela da média geral dos parâmetros analisados segue abaixo:

Tabela 6: Média Geral dos parâmetros da Qualidade das águas analisadas.

Parâmetros	Média Geral	Desvio Padrão	Limites de Potabilidade
pH	6,162	0,511	6 a 9
Alcalinidade (ppm $CaCO_3$)	6,542	3,086	400
Acidez Total (ppm $CaCO_3$)	5,772	2,018	-----
Condutividade (µS/cm)	53,119	93,132	50 a 1500
STD (ppm)	26,899	47,964	------
Dureza Total (ppm CaCO3)	6,006	3,619	500
Dureza de Cálcio (ppm CaCO3)	2,834	1,096	-----
Dureza de Magnésio (ppm CaCO3)	3,172	2,876	-----
Cloretos (ppm Cl^-)	12,393	22,345	250
Ferro Total (ppm de Fe^{++})	0	0	0,3
Turbidez (uT)	1,292	0,534	5
Oxigênio Dissolvido (ppm)	7,918	1,488	600

Os limites de potabilidade são baseados na portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. (BRASIL, 2004).

Mesmo não sendo o objetivo desse trabalho, podemos comparar os parâmetros obtidos da água da chuva com os limites de potabilidade para o consumo da água por humanos. Dessa forma observamos que a água da chuva tem em geral parâmetros muito inferiores aos limites de potabilidade o que demonstra seu potencial uso industrial.

Podemos comparar também esses resultados com aqueles obtidos nos trabalhos de alguns autores que também realizaram análises em águas pluviais.

Quando comparado com os valores encontrado por Jaques (2005) percebe-se que o pH encontrado é próximo ao pH médio encontrado em suas análises, o qual varia entre 5,13 a 7,35. A dureza média encontrada apresenta valores significativamente menor sendo que a encontrada pelo autor varia entre 11,18 a 38,43 mg/L $CaCO_3$. Enquanto o ferro total não foi identificado nas amostras realizadas nesse trabalho, Jaques (2005) encontrou valores variando entre 0,02 a 0,49 mg/L. Para a turbidez, a média geral dos valores encontrados neste trabalho também foi menor que a média encontrada em sua dissertação sendo que seus valores variaram entre 4,70 a 8,68 uT. Sendo assim, pode-se considerar que de forma geral a qualidade das águas analisadas apesar de apresentarem parâmetros próximos aos encontrados no trabalho do mestre Jaques em sua dissertação, apresentou uma melhor qualidade para uso em caldeiras industriais.

Através da tabela 5 com as médias encontradas para as coletas feitas pelo método direto, pode-se perceber que os valores de todos os parâmetros são menores que os encontrados na média geral. Isso também foi verificado em outros trabalhos, como o de Araújo, Reis e Rocha (2009), realizados com água coletada direto da atmosfera e água coletada com interferências.

Essa mesma análise foi efetuada com os valores obtidos pelas análises realizadas nas amostras coletadas pelo método indireto e está apresentada também na tabela 5 e ao contrário do ocorrido no método passado, nesse método pode-se perceber que os valores de todos os parâmetros são maiores que os encontrados na média geral. Isso também foi verificado em outros trabalhos, como os de Hangemann. (2009), Annecchinni (2005), realizados com água coletada direto da atmosfera e água coletada com interferências.

A seguir encontra-se a tabela 7 com a comparação obtida através das análises efetuadas por esta pesquisa e por outros pesquisadores anteriormente e a tabela 8 com a comparação da coleta indireta com outras realizadas por outros pesquisadores, que sintetiza o que foi explicado anteriormente.

Tabela 7: Comparação com o resultado da chuva direto da atmosfera com outros autores.

Autor	Local de Pesquisa	Parâmetros (Valores Médio)								
		pH	Alcalinidade	Condutividade	STD	Dureza Total	Cloretos	Ferro Total	Turbidez	Oxigênio Dissolvido
Jaques	**Florianópolis / SC**	5,46	2,59	16,57	-----	9,29	9,09	0,02	4,26	-----
Araújo	**Goiânia / GO**	7,06	6	4,6	-----	4	-----	-----	1,34	-----
ANNECCHINNI	**Vitória / ES**	6,09	-----	-----	-----	8,4	4,1	-----	0,9	-----
Hangemann	**Santa Maria / RS**	6	8	62	-----	7,4	8,1	0,07	13	-----
Esta Pesquisa	**Aracaju / SE**	6,130	4,152	17,616	8,652	3,287	3,214	0	1,152	6,934

Tabela 8: Comparação com o resultado da chuva indireta dos telhados com outros autores.

Autor	Local de Pesquisa	Parâmetros (Valores Médio) Método Indireto								
		pH	Alcalinidade	Condutividade	STD	Dureza Total	Cloretos	Ferro Total	Turbidez	Oxigênio Dissolvido
Jaques	**Santa Catarina**	6,51	3,58	28,14	-----	15,27	10,73	0,13	5,69	-----
Araújo	**Goiás**	7,72	4	3,7	-----	2,06	-----	-----	1,63	-----
ANNECCHINNI	**Espírito Santo**	6,84	-----	-----	-----	19,8	14,5	-----	10,4	-----
Hangemann	**Rio Grande do Sul**	7,1	44,1	120	-----	52,1	4,4	0	18	-----
Esta Pesquisa	**Sergipe**	6,195	8,932	88,622	45,147	8,725	21,572	0	1,431	8,902

Na tabela 7, verifica-se que os parâmetros desta pesquisa estão dentro da média encontrada por outros autores, sendo que a água analisada por Araújo, Reis e Rocha (2009) em Goiás é a que apresenta valores de condutividade e dureza menor com baixa turbidez e pH ligeiramente básica, sendo considerada como uma água de grande potencial para uso industrial. A água por Hangemann (2009) em Rio Grande do Sul foi a que encontrou maior valor de condutividade, ferro e turbidez e ainda assim possui valores muito menor que os da água bruta utilizada na indústria, sendo consideradas águas de boa qualidade para uso industrial.

Na tabela 8, foi utilizado os parâmetros encontrados por Jaques (2005) utilizando telhados cerâmicos após 10 minutos de chuva, estes parâmetros foram selecionados para comparação com a presente pesquisa, a qual, aguardou-se 15 minutos de chuva para fazer a coleta pelo método indireto. Na comparação com Araújo, Reis e Rocha (2009) foi utilizado valores da água coletada por telhados metálicos na 11ª coleta, selecionados pois na presente pesquisa foi utilizado o telhado metálico do condomínio Elevatto em Aracaju para fazer a coleta, enquanto que na comparação com Hangemann (2009), foi utilizado os valores da média da amostra de número 1 da água coletada dos telhados em Vicente Farencena e na comparação com Annecchinni (2005) foram utilizados os valores médio utilizado em sua dissertação para comparação com outros autores.

Percebe-se que, com exceção de Araújo, Reis e Rocha (2009) que foi analisada a 11ª coleta e com isso o telhado já tinha sido lavado com as próprias chuvas anteriores, os parâmetros dos demais possuem valores significantemente maior aos analisados pela coleta direta. Os menores valores são encontrados por Araújo, Reis e Rocha (2009) que analisou a água coletada por telhado metálico e a 11ª coleta. Esta pesquisa também utilizou telhados metálicos para análise o que fez com que seus parâmetros tivessem qualidade superior aos coletados somente por telhados cerâmicos. Hagemann (2009) utilizou as análises efetuadas na amostra 1, coletada em telhados cerâmicos sendo seus parâmetros de pior qualidade. Infere-se dessa forma que para uso industrial é aconselhado o uso de telhado metálico e o descarte dos primeiros 3 mm da chuva para reduzir os contaminantes. Porém, percebe-se também que mesmo as análises de pior qualidade, tem valores aceitáveis e de qualidade significativas para uso industrial, o que justifica o uso da água coletada também por telhados e calhas. Na tabela 9 a seguir temos os resultados da análise apresentadas por local e método de coleta.

Tabela 9: Resultado da análise por ponto de coleta e por método coletado..

Parâmetros	Método Indireto (Elevatto)	Desvio Padrão	Método Indireto (Eduardo Gomes)	Desvio Padrão	Método Indireto (IFS)	Desvio Padrão	Método Direto (Elevatto)	Desvio Padrão	Método Direto (Eduardo Gomes)	Desvio Padrão	Método Direto (IFS)	Desvio Padrão
pH	7,019	0,415	5,823	0,447	5,742	0,280	6,562	0,513	6,123	0,331	5,705	0,391
Alcalinidade	8,906	2,657	8,023	1,401	9,868	0,386	3,140	0,587	7,010	1,627	2,305	0,876
Acidez Total	4,578	2,887	6,150	2,735	8,355	3,384	6,292	2,861	4,643	0,890	4,612	1,125
Condutividade	25,060	18,615	208,297	166,498	32,510	6,681	12,637	4,054	22,337	4,678	17,873	3,838
STD	12,308	9,143	106,985	86,053	16,147	3,048	6,207	1,991	10,971	2,298	8,779	1,885
Dureza Total	7,693	4,872	10,452	3,079	8,030	1,717	2,988	0,806	3,003	0,414	3,870	0,543
Dureza de Cálcio	3,295	2,231	2,897	1,254	3,470	0,674	2,200	0,478	2,223	0,724	2,920	0,547
Dureza de Magnésio	4,398	2,685	7,555	2,066	4,560	1,081	0,788	0,565	0,780	0,401	0,950	0,270
Cloretos	7,665	1,504	48,510	50,094	8,540	3,369	4,670	0,837	3,875	0,678	1,098	0,500
Ferro Total	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Turbidez	1,438	0,697	1,880	1,519	0,975	0,739	1,408	1,297	1,290	0,623	0,758	0,562
Oxigênio Dissolvido	8,918	0,965	8,865	0,886	8,922	0,295	7,300	2,394	7,848	2,546	5,655	1,882

Através da tabela 9, percebe-se que o método indireto é muito influenciado pelo tipo de telhado que é captado a água e pelas condições que se encontra o telhado e a calha que faz o escoamento da água. Isso também foi verificado no trabalho de Jaques (2005) e Araújo, Reis e Rocha (2009) (2009). Assim como no trabalho de Araújo, Reis e Rocha (2009) (2009), comparando os valores encontrados pelas análises coletada de forma indireta, as amostras do condomínio Elevatto, que possui telhado metálico, são aquelas com menores valores de condutividade, sólidos totais dissolvidos, dureza total e cloretos.

Ainda em relação a comparação entre as coletas pelo método indireto, a condutividade, sólidos totais dissolvidos e cloretos foram os parâmetros que tiveram as maiores diferenças de valores entre o condomínio Elevatto que tem telhado metálico e o Eduardo Gomes e o IFS Lagarto que possuem telhados cerâmicos.

A condutividade chegou a ter uma diferença de 183,237μS/cm entre a média dos valores encontrados no Eduardo Gomes (208,297 μS/cm) e a média dos valores encontrados no Elevatto (25,060 μS/cm). Isso se dá devido ao tipo de telhado, sendo o telhado do Elevatto metálico e o do Eduardo Gomes cerâmico e também devido a quantidade de chuva para lavar o telhados e calhas. No Eduardo Gomes que teve períodos maiores sem chuva teve a qualidade da água muito afetada pelo local por onde ela escoava.

Apesar da sua maior proximidade com o mar, a quantidade de cloretos na água coletada no condomínio Elevatto é menor que nos outros locais devido principalmente pelo seu telhado metálico, tendo em vista que as impurezas nesse tipo de telha saem com muita facilidade nos primeiros minutos de chuva. Quando comparado a chuva coletada pelo método indireto do IFS Lagarto com o Eduardo Gomes percebe-se que como ambos possuem o mesmo tipo de telhado e o Eduardo Gomes está muito mais próximo ao mar, esse é muito mais influenciado pela quantidade de cloretos na água.

No que diz respeito aos dados apresentados em relação ao método direto na tabela 9, pode-se identificar que devido à proximidade do IFS com a indústria e seu afastamento em relação ao mar, a chuva é de teor um pouco mais ácido que as outras, mas essa diferença não é significativa do ponto de vista estatístico, como mostra no gráfico 3, e também não tão ácida quanto as chuvas analisadas em outras cidades como o Rio de Janeiro, pesquisa feita por Mello (2001), onde o pH foi de 5,10.

Em comparação ao Elevatto e ao Eduardo Gomes, percebe-se que no Elevatto, devido sua proximidade ao mar sofre a influência na quantidade de cloretos, porém esta diferença não

chega a ser significativa do ponto de vista estatístico, como vimos no gráfico 11. Do ponto de vista estatística o parâmetro que apresenta uma diferença significativa entre os pontos de coleta é a alcalinidade como apresentado no gráfico 4, onde a coletas efetuadas no Eduardo Gome apresentaram valores significativamente maiores que as outras, muito possivelmente pela maior presença de sais contaminantes presentes na água devido aos ventos mais fortes pela falta de prédios na região e pela presença de muitas casas de telhados próximos ao local que foi feita a coleta.

De forma geral, os parâmetros estão próximos entre os pontos de coleta, isso mostra que o lançamento de gases na atmosfera feito pela indústria em Lagarto está levando em conta a preocupação ambiental e utilizando filtros de boa qualidade. Mostra também que deve ser utilizado a água da chuva como fonte alternativa de alimentação em caldeiras como uma boa alternativa em todo o estado de Sergipe e quando comparados com outros estudos realizados em outros estados do Brasil pode-se utilizar a água de precipitação atmosférica em todo território brasileiro, obtendo-se água de boa qualidade para uso industrial.

É de fundamental importância salientar que os únicos parâmetros que tiveram diferenças significativas entre os métodos diretos e os indiretos, conforme mostrado nos gráficos 3 a 13 anteriormente foram os de alcalinidade, condutividade, sólidos totais dissolvidos, dureza total, dureza de magnésio e oxigênio dissolvido, mas mesmo assim esses parâmetros foram baixos e podem ser corrigidos com muita facilidade ou até mesmos não precisam de correção para seu uso em caldeiras industriais.

Na tabela 10 a seguir, serão apresentados os dados analisados de acordo com os períodos chuvosos e os períodos de pouca chuva, sendo separados por método de coleta e locais de coleta.

Tabela 10: Resultado da análise por ponto de coleta e por método coletado e por época chuvosa e de pouca chuva.

Parâmetros	Estação Chuvosa (IFS) M.D	Estação Pouca chuva (IFS) M.D	Estação Chuvosa (IFS) M.I	Estação Pouca chuva (IFS) M.I	Estação Chuvosa (Elevatto) M.D	Estação Pouca chuva (Elevatto) M.D	Estação Chuvosa (Elevatto) M.I	Estação Pouca chuva (Elevatto) M.I	Estação Chuvosa (Eduardo) M.D	Estação Pouca chuva (Eduardo) M.D	Estação Chuvosa (Eduardo) M.I	Estação Pouca chuva (Eduardo) M.I
pH	5,623	5,787	5,633	5,850	6,597	6,527	6,917	7,120	6,117	6,130	5,710	5,937
Alcalinidade	2,550	2,060	9,867	9,870	3,267	3,013	7,130	10,681	7,677	6,343	7,660	8,387
Acidez Total	5,047	4,177	9,243	7,467	8,590	3,993	4,987	4,170	4,887	4,400	3,963	8,337
Condutividade	15,127	20,620	28,853	36,167	9,640	15,633	9,367	40,753	25,467	19,207	73,027	343,567
STD	7,430	10,128	14,533	17,760	4,735	7,678	4,601	20,016	12,508	9,434	37,470	176,500
Dureza Total	3,560	4,180	6,813	9,247	3,240	2,735	3,587	11,800	2,887	3,120	12,477	8,427
Dureza de Cálcio	2,690	3,150	2,953	3,987	2,423	1,977	1,437	5,153	1,797	2,650	3,990	1,803
Dureza de Magnésio	0,870	1,030	3,860	5,260	0,817	0,758	2,150	6,647	1,090	0,470	8,487	6,623
Cloretos	1,143	1,053	7,127	9,953	4,970	4,370	6,790	8,540	3,410	4,340	14,720	82,300
Ferro Total	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Turbidez	0,507	1,010	0,547	1,403	1,838	0,977	0,883	1,993	1,333	1,247	2,120	1,640
Oxigênio Dissolvido	4,287	7,023	8,950	8,893	6,067	8,533	8,850	8,987	7,260	8,437	8,740	8,990

Vários trabalhos indicam que após um certo período de chuva contínua ou até mesmo após períodos de chuva intercalados fazem com que o local por onde a água é escoda seja limpo pela própria água da precipitação e isso melhore significativamente a qualidade da água pluvial. Por esse motivo que a própria norma brasileira de aproveitamento de água pluvial, a NBR 15527-07, prevê a dispensa dos primeiros milímetros de chuva pluvial captada.

Pode-se perceber isso neste trabalho e em outros trabalhos que serão discutidos, como o de Araújo, Reis e Rocha (2009), HANGEMANN (2009), Jaques (2005).

Para Araújo, Reis e Rocha (2009), foi analisado as amostras da 2ª e 11ª coleta e sendo que a 2ª amostra foi coletada após um período de 136 dias sem chover enquanto a 11ª amostra foi coletada após um período de 4 dias sem chuva, fica muito evidente que o período com longo período de seca influência de forma muito significativa nos parâmetros qualitativos da água captada. Parâmetros como a turbidez chegou a ficar 21 vezes menor na 11ª coleta quando comparada com a 2ª coleta.

Na dissertação de Hangemann (2009), ele diz que em eventos os quais um período de tempo seco antecedente, combinado com intensidade fraca e pequeno volume de chuva influenciaram bastante aumentando praticamente todos os parâmetros. Ele demonstrou isso através das comparações com seus eventos 11 e 12 e os eventos 15 e 16, sendo que no evento 11 e 15 tiveram períodos seco antecedentes e intensidade de chuva fraca e os eventos 12 e 16 aconteceram com períodos secos curtos e intensidade forte e grande volume de chuva.

Na dissertação de Jaques (2005) foi analisado as amostras coletadas logo no início das chuvas, após 10 minutos de chuva, 30 minutos de chuva e 60 minutos de chuva, comprovando o ocorrido nos trabalhos anteriores, por via geral os parâmetros tinham valores reduzidos com o tempo, e isso é apresentado na conclusão de seu trabalho mostrando a necessidade do descarte dos primeiros 10 minutos da água da chuva, a fim de reduzir a concentração de partículas e elementos poluidores encontrados nos telhados por onde a água escoa.

Neste trabalho também verificado situações semelhantes, apesar de as amostras terem sido coletadas após 15 minutos de chuva contínua, foram analisados os dados apresentados em períodos chuvosos e períodos de pouca chuva e separados na tabela 13, onde verifica-se que de forma geral, as coletas pelo método direto e o indireto são influenciadas significativamente, em alguns parâmetros, pelo período de chuva e pouca chuva.

Os parâmetros influenciados significativamente do ponto de vista estatístico pelo período de chuva e pouca chuva pelo método direto são: alcalinidade, acidez total, condutividade, sólidos

totais dissolvidos e cloretos, enquanto no método indireto são: condutividade, sólidos totais dissolvidos, dureza total e magnésio e cloretos.

O mais importante é que se pode perceber com esse trabalho e com os outros realizados nessa linha de pesquisa que a água da chuva tem boa qualidade para uso industrial, independente da estação que está sendo coletada e o método que está sendo coletada, sendo a água captada indiretamente de qualidade um pouco inferior, como esperado, porém não de forma significativa ao ponto de ser descartada.

Nos gráficos abaixo serão apresentados estatisticamente, segundo o teste de t-student para 2 variáveis e teste de tukey para mais de duas variáveis, as diferenças significativas ou não entre as estações mais chuvosas e pouco chuvosas. Sendo que letras iguais correspondem que não há diferenças significativas e letras diferentes corresponde que há diferenças significativas.

Gráfico 14: Relação do pH pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.

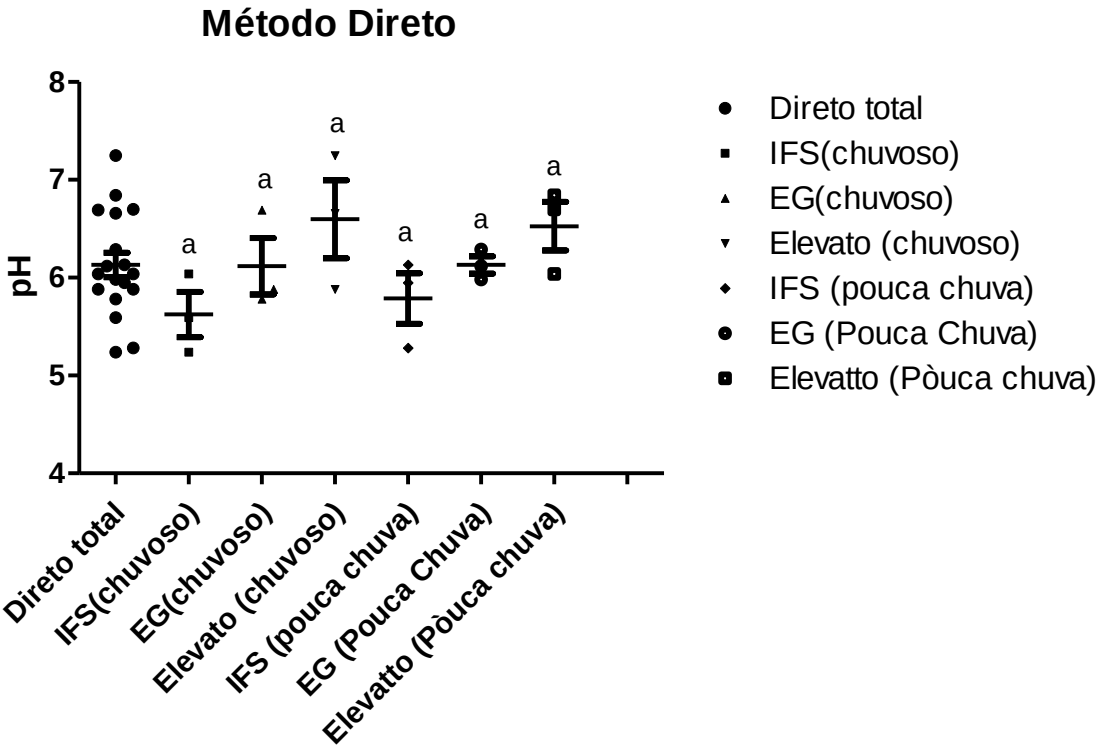
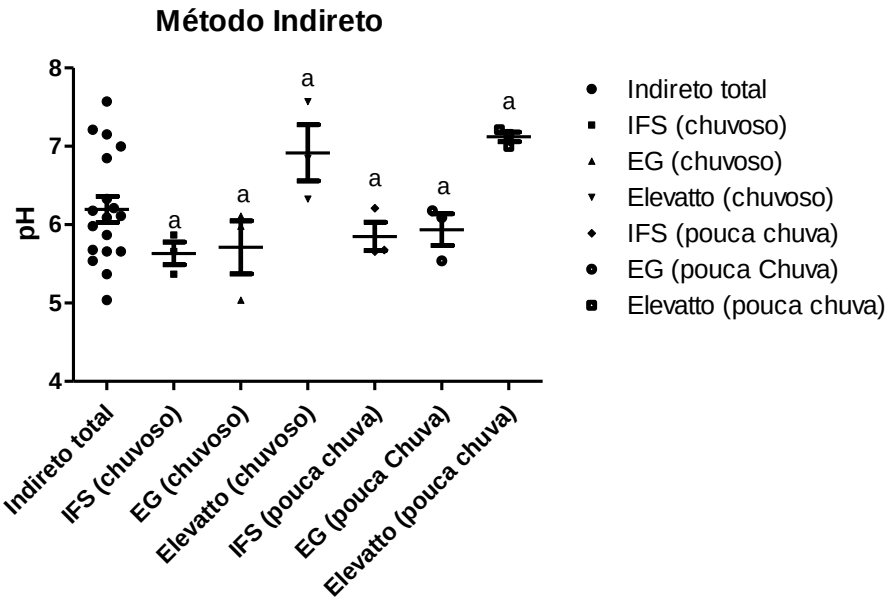


Gráfico 15: Relação do pH pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.



Como podemos perceber, não houve diferenças significativas entre as estações do ano, tanto pelo método direto como pelo método indireto para o pH, mesmo que no gráfico observemos que há diferenças nos valores médios. Porém podemos perceber também que os valores médios do método direto são mais homogêneos que os do método indireto.

Gráfico 16: Relação da alcalinidade pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.

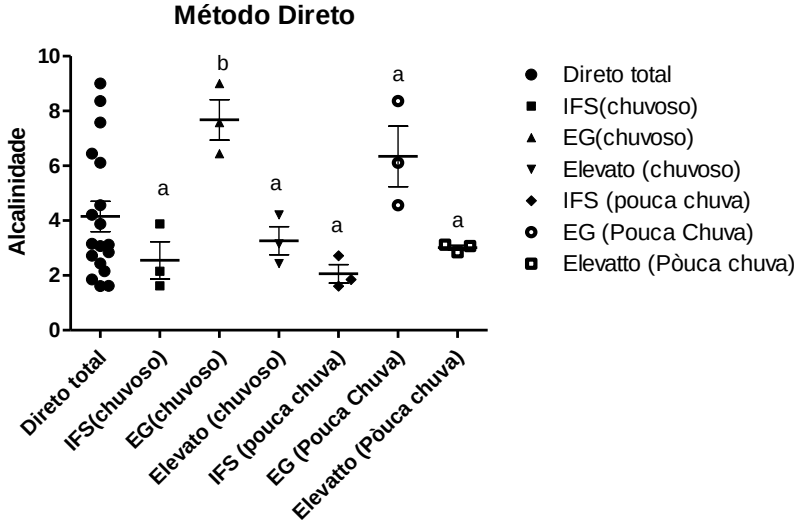
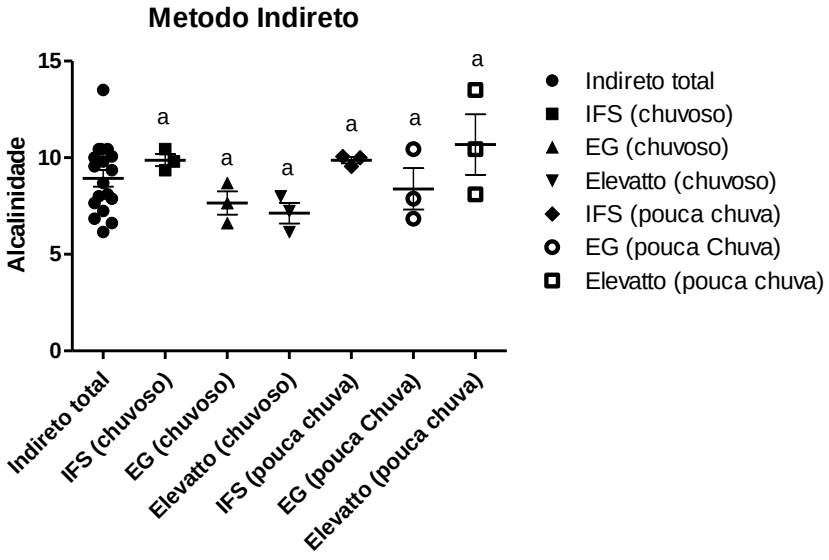


Gráfico 17: Relação da alcalinidade pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.



Percebe-se que no método direto houve uma diferença significativa dos dados de alcalinidade encontrados no Eduardo Gomes em período chuvoso em relação aos demais, isso ocorre porque como a alcalinidade dos outros locais são relativamente baixas, como os valores encontrados no Eduardo Gomes são mais altos essa diferença se torna significativa, o que não ocorre no método indireto, pois como todos os locais tem valores relativamente altos, essas diferenças não se tornam significativas.

Esse aumento no valor do período chuvoso ocorre principalmente pela maior velocidade dos ventos e pela região ter poucos prédios para barrar o vento e muitas casas que interferem no resultado. Como o IFS Lagarto fica num local mais isolado isso não é muito percebido, apesar de haver um pequeno aumento na época chuvosa também devido aos ventos.

No método indireto, a alcalinidade em geral aumenta um pouco devido ao período de poucas chuvas, porém esse aumento não é significativo do ponto de vista estatístico.

Gráfico 18: Relação da acidez total pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.

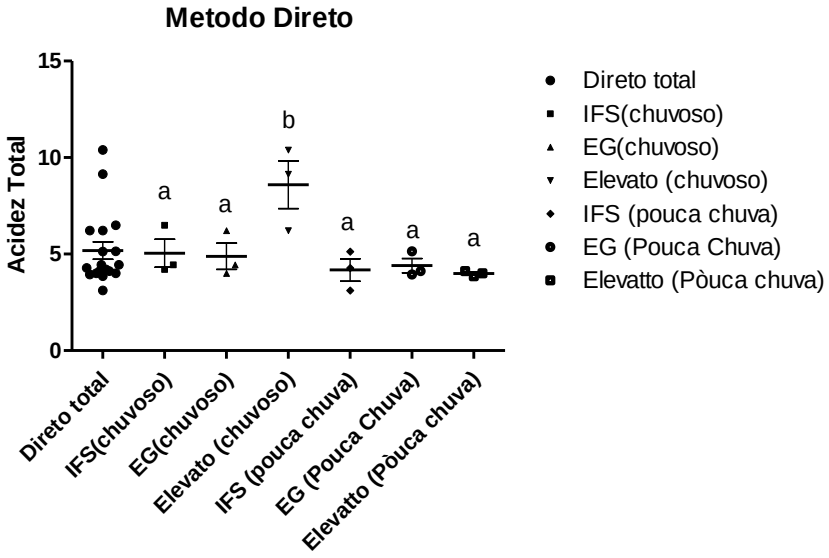
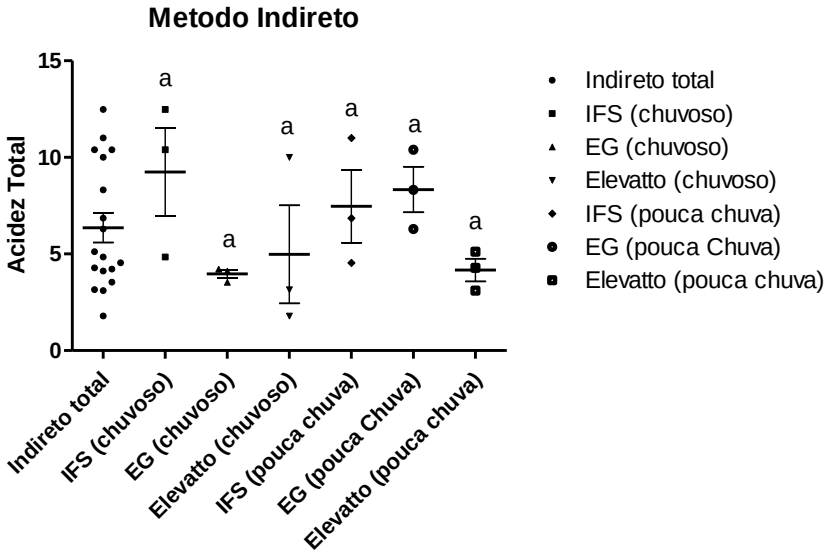


Gráfico 19: Relação da acidez total pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.



Na acidez total, tem-se uma diferença significativa apenas no método direto, onde as amostras coletadas no condomínio Elevatto em Aracaju tiveram valores de acidez significativamente mais altos que os demais locais. Como os valores no método direto tiveram pouca variação e foram relativamente baixos, quando se encontrou valores um pouco mais elevado eles foram significativos do ponto de vista estatístico, como no método indireto os valores são mais heterogêneos e relativamente mais altos essas variações se tornam menos significativas.

Gráfico 20: Relação da condutividade pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.

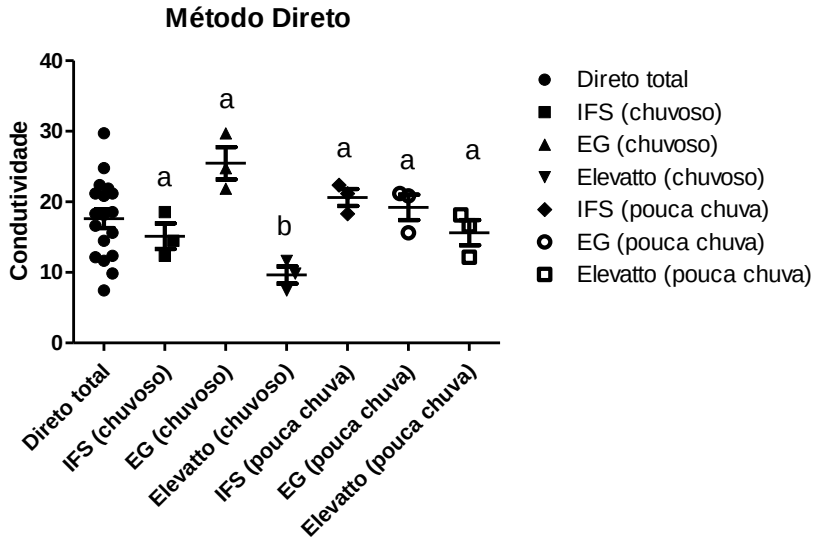
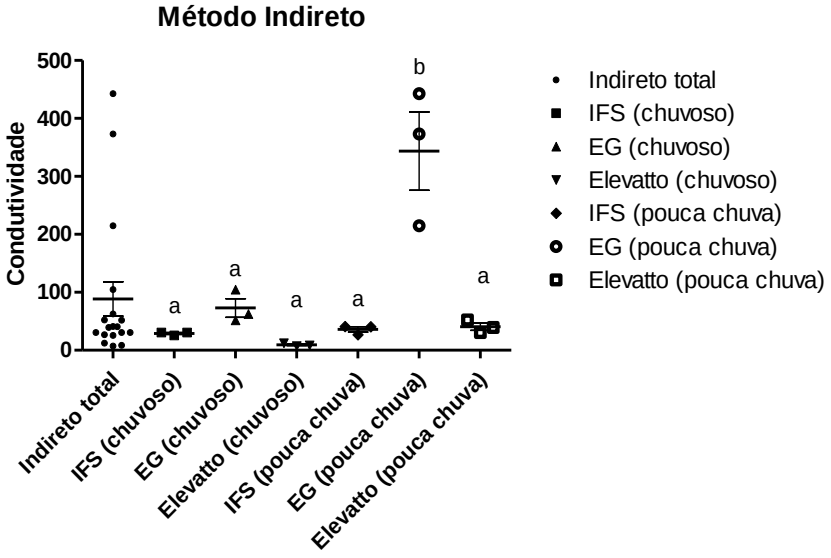


Gráfico 21: Relação da condutividade pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.



A condutividade é um dos parâmetros mais afetados pelo tipo de método de coleta, como era de se esperar, tendo em vista que esse parâmetro mede a quantidade geral de impurezas presentes na água. No método direto obteve-se valores baixos de condutividade, em torno de 20 µS/cm, sendo que a água coletada no Elevatto em período chuvoso teve valores significativamente mais baixos que os demais, o que quer dizer com menos impurezas. No método direto os valores foram muito mais alto, tendo uma média de 40 a 70 µS/cm e em alguns casos chegou a aproximadamente 500 µS/cm, o que nos mostra como os telhados e calhas influenciam na qualidade da água. Os valores mais baixos encontrados no método indireto foram no condomínio

Elevatto, que possui telhado metálico, e os mais altos foram no Eduardo Gomes, que possui telhado de material cerâmico e muita influência dos cloretos e da maresia.

Gráfico 22: Relação dos sólidos totais dissolvidos pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.

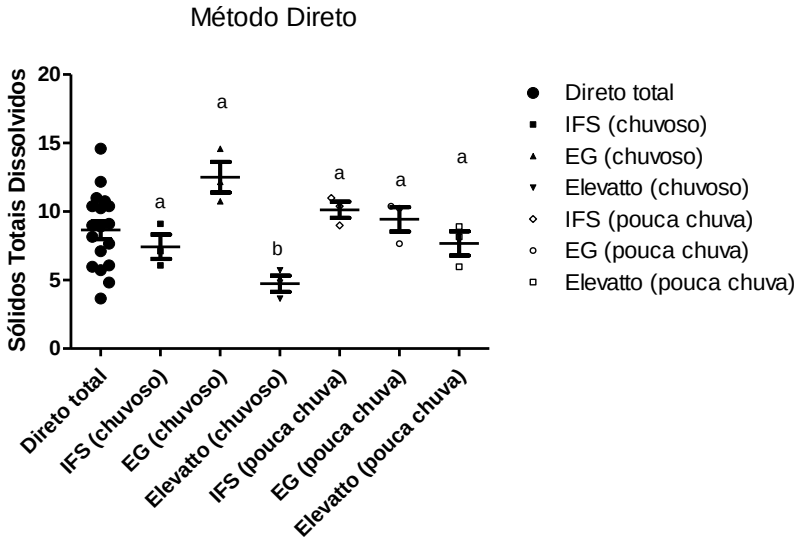
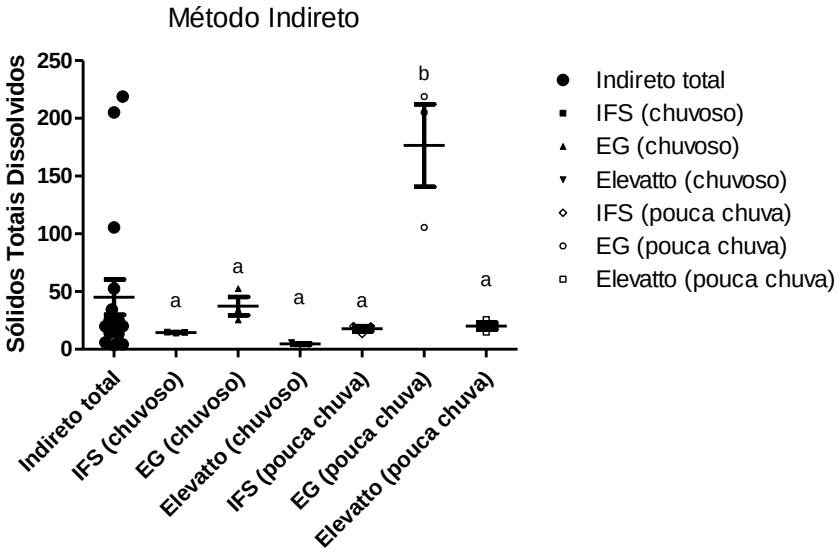


Gráfico 23: Relação dos sólidos totais dissolvidos pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.



Os sólidos totais dissolvidos seguem as mesmas características da condutividade, tendo em vista que o STD é obtido dividindo a condutividade por um fator de correção no próprio aparelho de aquisição de dados.

Gráfico 24: Relação da dureza total pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.

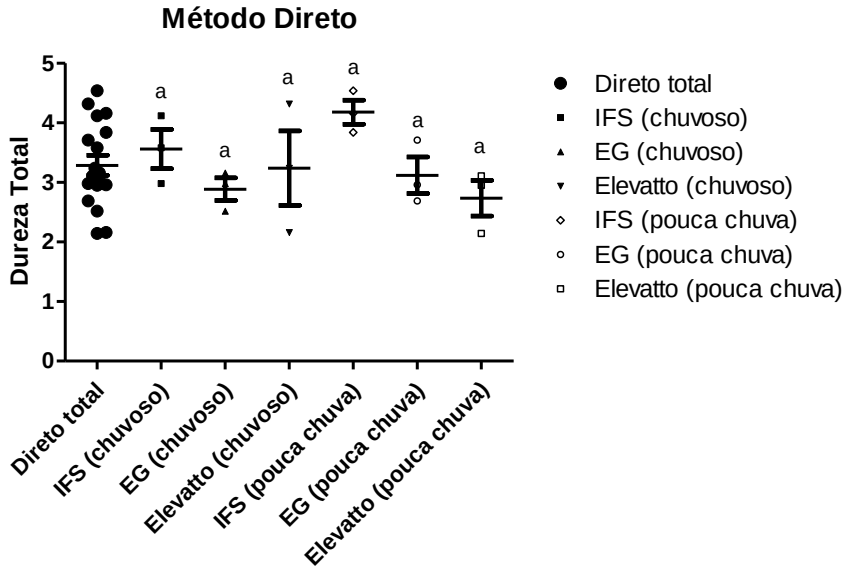
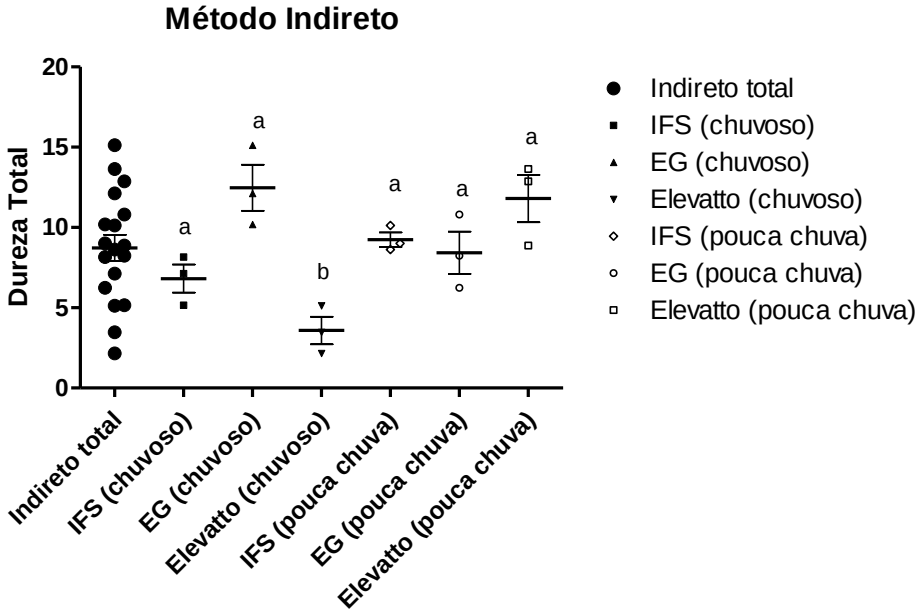


Gráfico 25: Relação da dureza total pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.



Não houve diferenças significativas nos valores encontrados das coletas efetuadas pelo método direto, enquanto que no método indireto houve uma redução significativa entre os valores das amostras do Elevatto no período chuvoso e as demais. Isso se dá devido ao fato do telhado metálico ser lavado com maior facilidade durante os primeiros minutos de chuva.

Gráfico 26: Relação da dureza de cálcio pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.

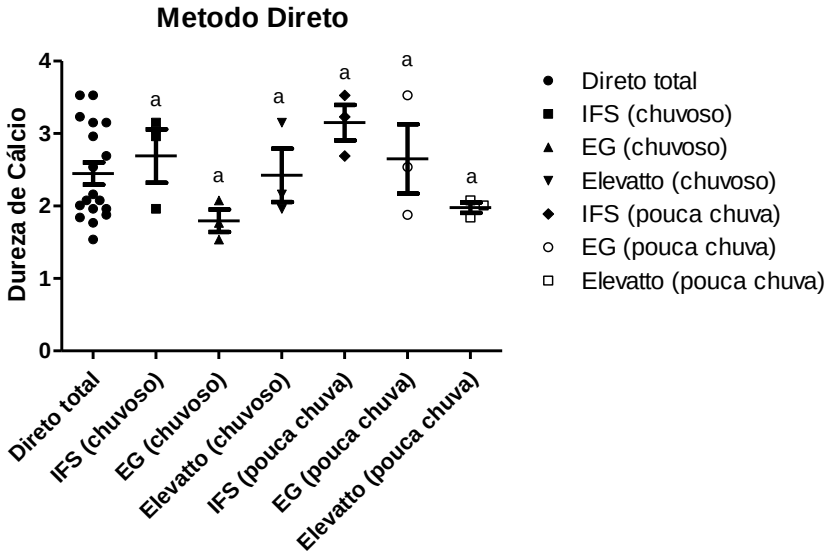
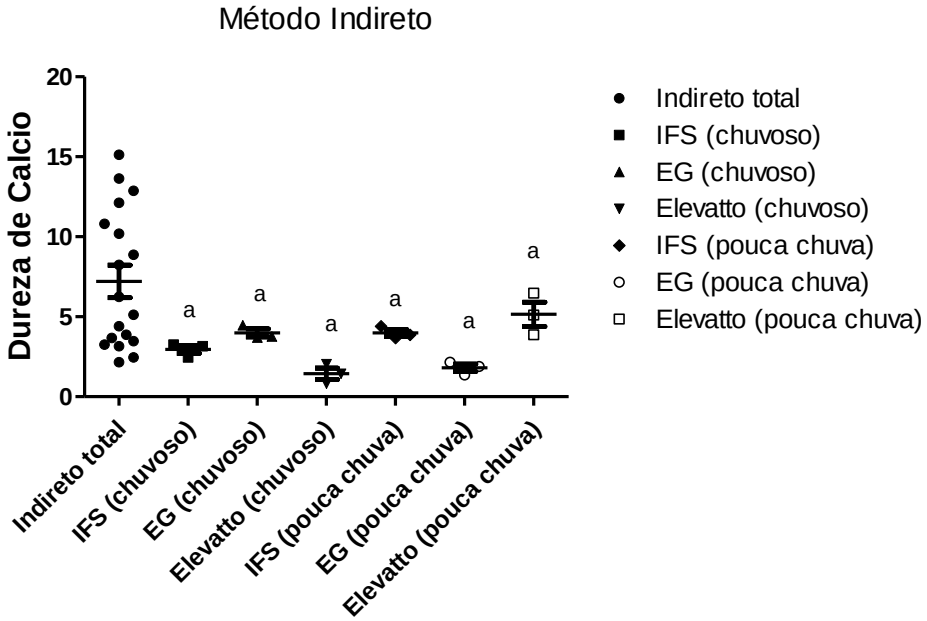


Gráfico 27: Relação da dureza de cálcio pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.



Não houveram diferenças significativas nem no método direto nem no indireto, sendo os valores para dureza de cálcio relativamente baixos, sendo que no método indireto sua contribuição para a dureza total é consideravelmente menor que a dureza de magnésio.

Gráfico 28: Relação da dureza de magnésio pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.

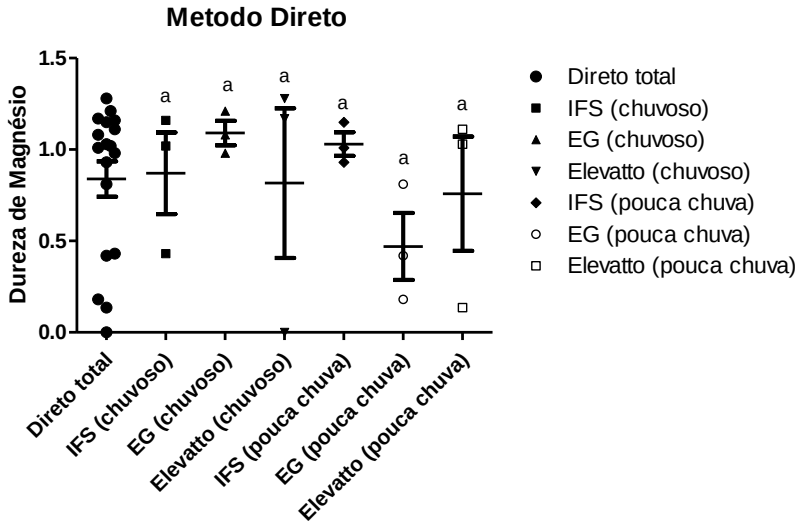
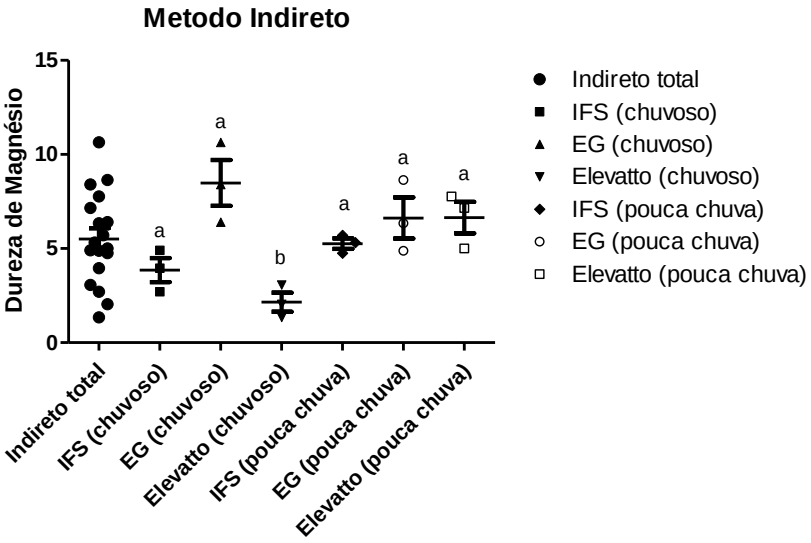


Gráfico 29: Relação da dureza de magnésio pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.



Não houve diferenças significativas nas amostras do método direto, enquanto que no método indireto as amostras coletadas no Condomínio Elevatto, que tem telhado metálico e em período chuvoso, apresenta valores significativamente menores que os demais.

Gráfico 30: Relação dos cloretos pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.

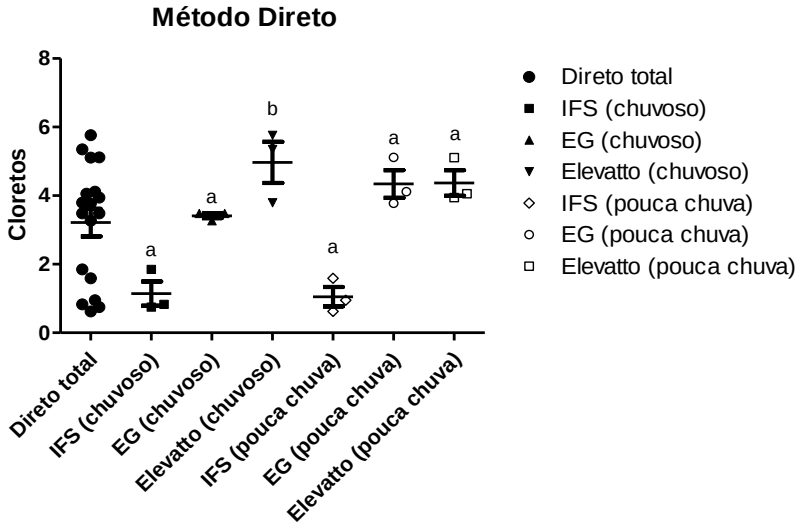
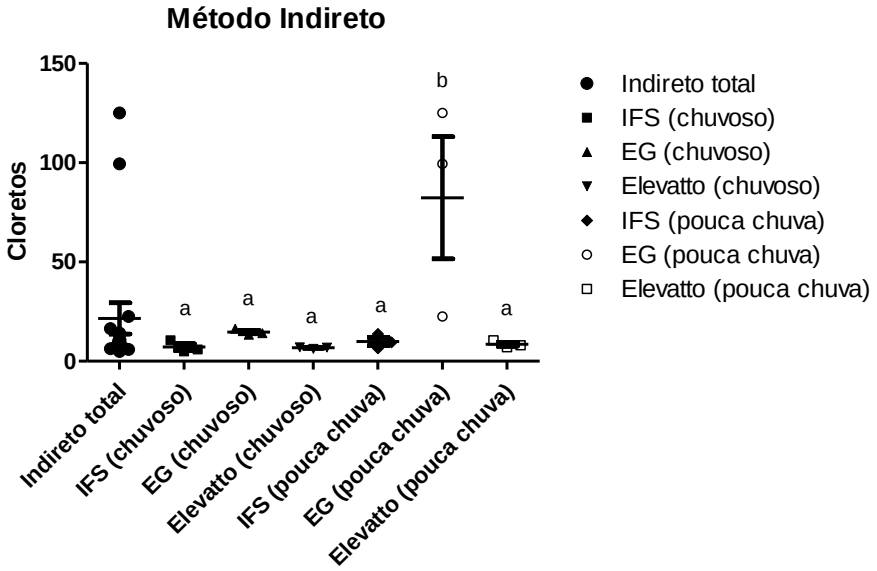


Gráfico 31: Relação dos cloretos pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.



No método direto a diferença significativa foi principalmente entre o Elevatto em período chuvoso e o IFS Lagarto no período chuvoso e de pouca chuva. Isso ao afastamento do IFS da Lagarto em relação ao mar. Não há diferença significativa em relação a estações de mais chuva e menos chuva em relação ao mesmo ponto de coleta. No método indireto nota-se a influência muito grande da quantidade de chuva em relação a quantidade de cloretos, principalmente em locais mais próximo ao mar e em telhados cerâmicos, que é o caso do Eduardo Gomes. Verifica-se que a quantidade de cloretos no Eduardo Gomes em período de pouca chuva chegou a mais de 100 mg/l enquanto que na estação chuvosa esse valor foi próximo de 14 mg/L. Nos telhados metálicos, Elevatto e nos locais afastados do mar, IFS Lagarto, essas diferenças não foram significativas.

Gráfico 32: Relação da turbidez pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.

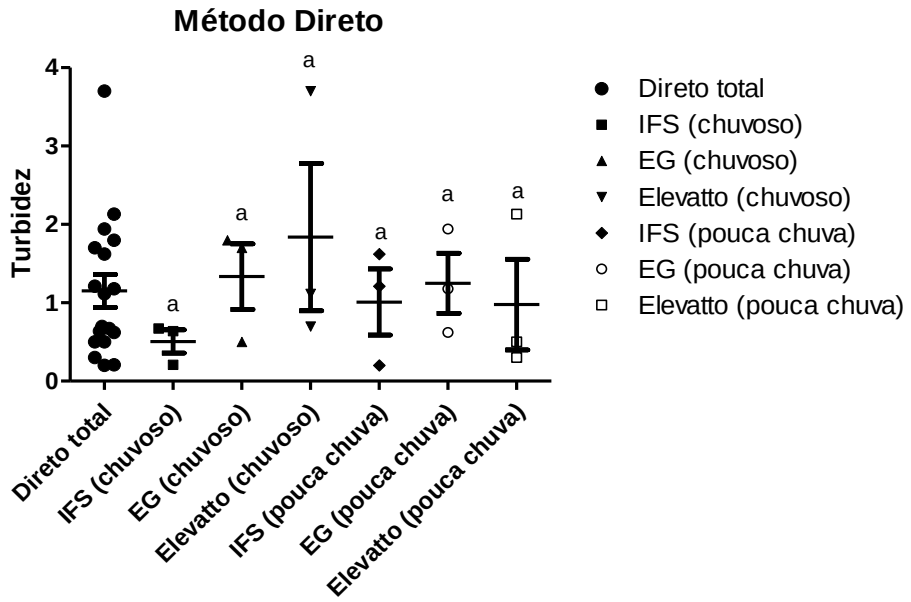
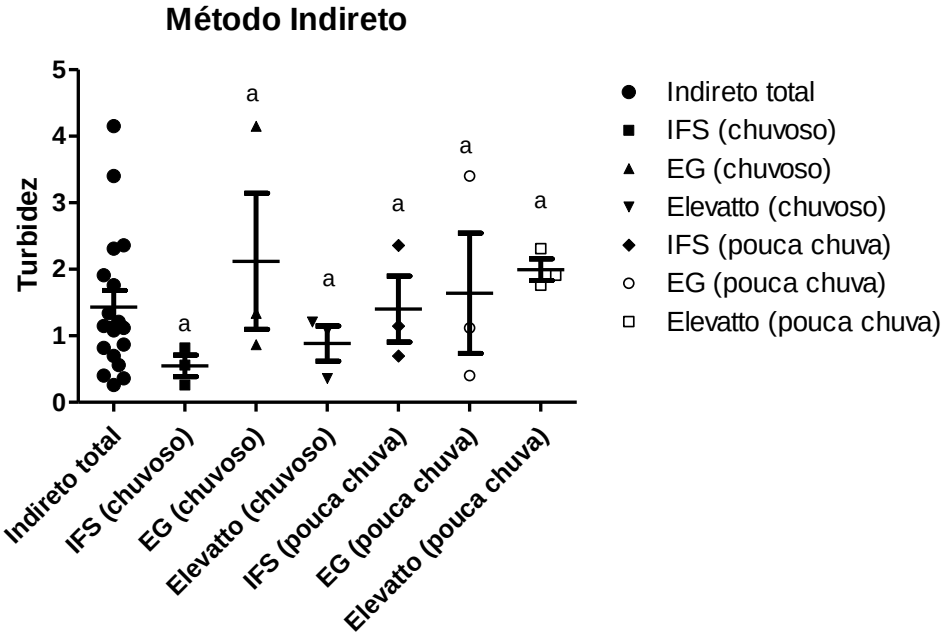


Gráfico 33: Relação da turbidez pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.



Tanto no método direto quanto no método indireto não houve diferenças significativas do ponto de vista estatístico, mesmo que seja perceptível que os valores em geral são baixos e próximos tanto no método direto quanto no indireto e percebe-se também que no que diz respeito a turbidez, o telhado metálico foi quem sofreu mais variação na sua qualidade, mesmo que essa diferença não tenha sido significativa.

Gráfico 34: Relação do oxigênio dissolvido pelo método direto em estações chuvosas e de pouca chuva.

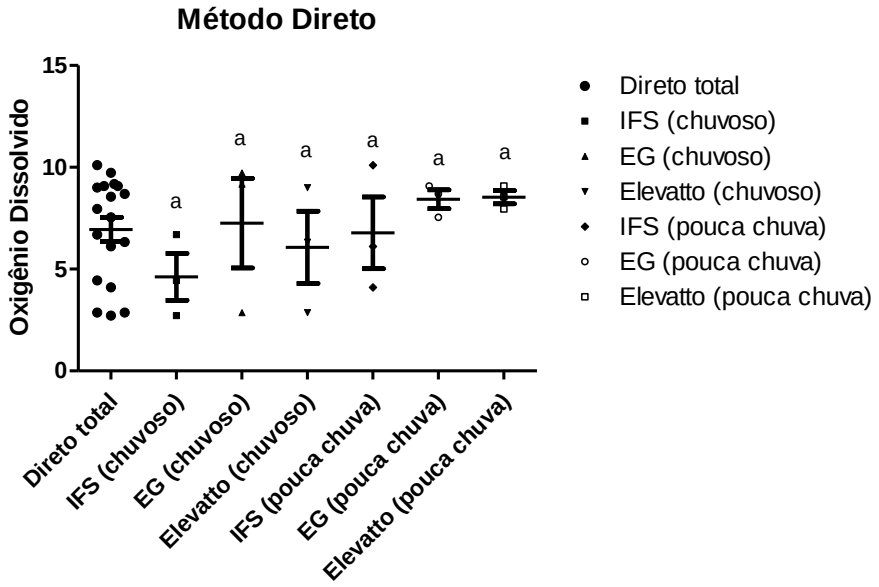
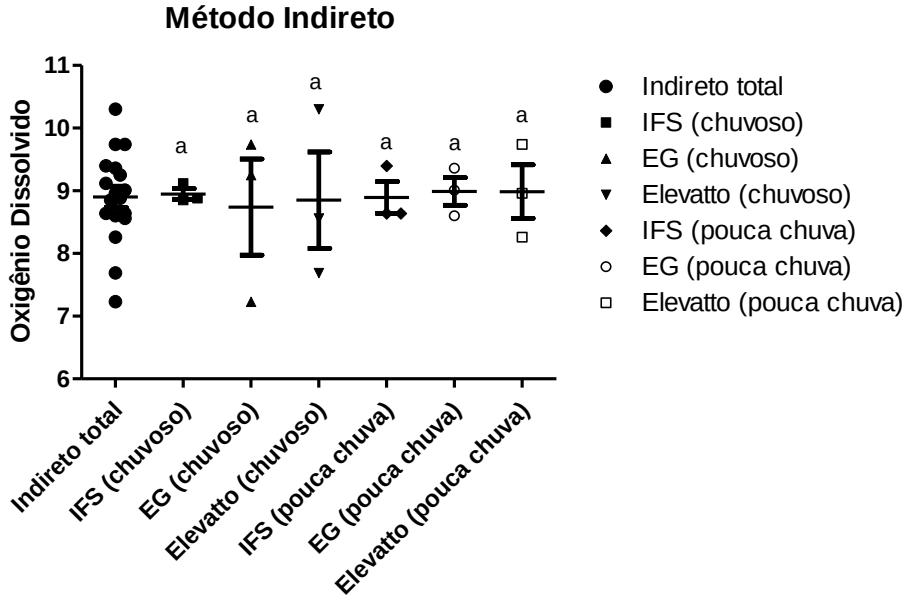


Gráfico 35: Relação do oxigênio dissolvido pelo método indireto em estações chuvosas e de pouca chuva.



Em ambos os métodos não houveram diferenças significativas, sendo que no método direto o IFS teve os menores valores de oxigênio dissolvido enquanto que no método indireto os valores médios foram muito homogêneos, porém com desvios padrões maiores.

5.4 RESULTADO DA COMPARAÇÃO DOS DADOS

Tabela 11: Comparação entre parâmetros da pesquisa com o de fabricantes e da norma ASME.

Parâmetros	Água Bruta Maratá*	Água tratada**	Fabricante***	ASME	Esta Pesquisa	VMP****
pH	7,6	6,9	10,5 A 11,5	8,8 - 9,6	6,162	6 a 9
Alcalinidade (ppm CaCO3)	120	40	< 800	< 100	6,542	400
Acidez Total (ppm CaCO3)	-----	-----	-----	-----	5,772	
Condutividade (µS/cm)	-----	-----	< 3000	< 150	53,119	50 a 1500
STD (ppm)	1300	50	< 2500	-----	26,899	
Dureza Total (ppm CaCO3)	320	0	< 2,0	< 0,05	6,006	500
Dureza de Cálcio (ppm CaCO3)	-----	-----	-----	-----	2,834	
Dureza de Magnésio (ppm CaCO3)	-----	-----	-----	-----	3,172	
Cloretos (ppm Cl-)	500	26	< 400 ppm CaCO3	-----	12,393	250
Ferro Total (ppm de Fe++)	0,92	0	< 5ppm Fe	< 0,02	0,000	0,3
Turbidez (uT)	45	0	-----	-----	1,292	5
Oxigênio Dissolvido (ppm)	-----	-----	0	< 0,07	7,918	600

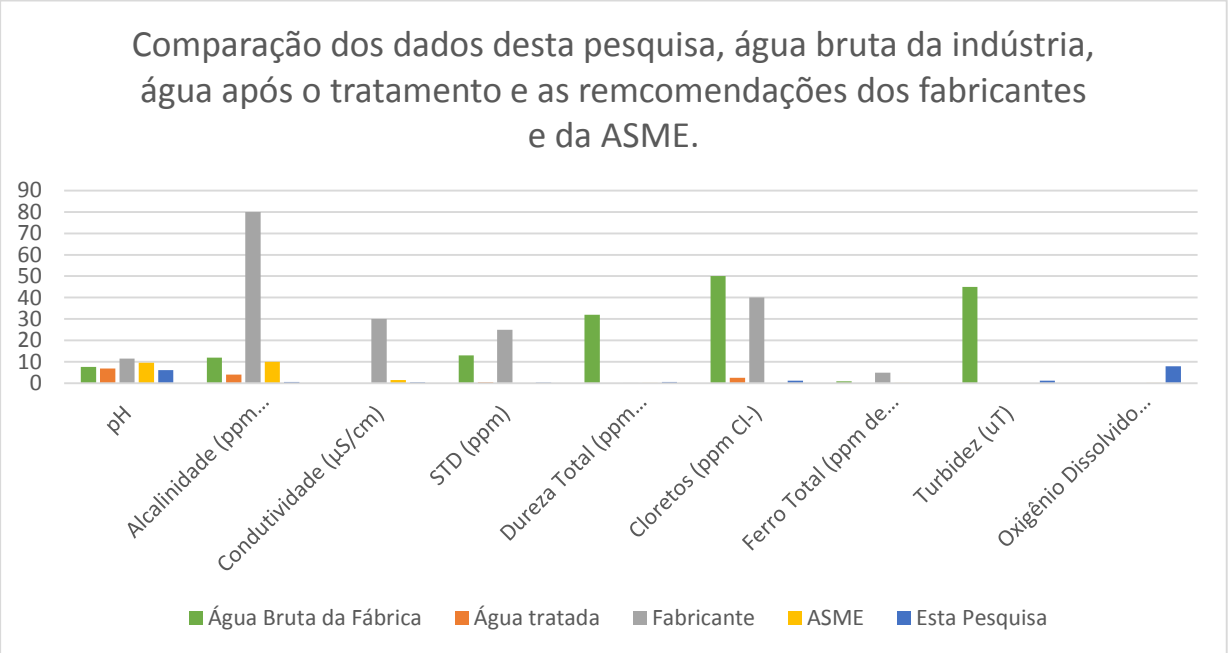
*Valores referentes da água bruta oriunda da barragem Dionísio de Araújo Machado em Lagarto;

** Valores referente a água após receber o tratamento pela própria Indústria de Alimentos Maratá;

***Os valores apresentados como sendo do fabricante na verdade constituem a média e aproximações de várias referências, recomendações de fabricante, normas estrangeiras e valores estipulados por empresas que atuam no setor de tratamento de água industrial. Neste caso, sabemos que pode haver diferenças nesses limites e valores aqui apresentados. Estes valores são recomendados para caldeiras do tipo flamotubulares, com pressão de operação de até 20 Kgf/cm², os limites recomendados vão ficando cada vez menores, à medida que vai aumentando a pressão de trabalho e a capacidade de produção de vapor. As fontes de consulta para esta tabela foram: BRITISH STANDARDS BS 2486 (1997); DEDINI (N/D); MEPPAM (N/D); AQUATEC (N/D); BUCKMAN (1997); NALCO (1962); KURITA (2001) e TROVATI (2009).

**** VMP (Valores Máximos de Potabilidade) são baseados na portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. (BRASIL, 2004).

Gráfico 36: Comparação dos dados desta pesquisa, água bruta da indústria, água após o tratamento e as recomendações dos fabricantes e da ASME.



Através do gráfico 36 e da tabela 11, percebe-se que a maioria dos parâmetros da chuva estão dentro dos limites estipulados pelos fabricantes, pela norma ASME e pela Indústria estudada. Vale salientar que todos os parâmetros da chuva são de melhor qualidade que o da água bruta utilizada pela indústria antes do tratamento, mostrando que o uso da água pluvial nos leva a uma economia considerável com tratamento de água. Os parâmetros da chuva que não estão de acordo com os padrões estabelecidos pela ASME e pelos fabricantes citados acima são: pH, Dureza, Turbidez e Oxigênio Dissolvido.

Muitos desses parâmetros podem ser corrigidos instalando curvas na tubulação, tratamentos internos e desaerador. Em muitas indústrias, na água da chuva basta uma correção de pH, pois a água já está em melhor qualidade do que a utilizada atualmente como alimentação da caldeira.

5.5 RESULTADO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a análise econômica, foi utilizado o volume de água consumido pela caldeira (2 m^3/h), os valores gastos pela empresa com o tratamento (R$ 1,45/m^3) e outorga da água (R$ 15,76/m^3) e o valor que seria gasto pela empresa com a construção do reservatório e todo o conjunto de acessórios e tubulações para a utilização da água da chuva.

Para calcular o custo da construção do sistema de captação da água da chuva, foi utilizada a fórmula e os conceitos presentes no tópico 1.5 dessa tese.

$$C = 336\ x\ V^{0,85}$$

Para utilizar esta fórmula, é necessário saber o volume do reservatório, para isto, foi construída a tabela 12 a seguir, com as informações da precipitação média mensal, demanda constante de água pela caldeira, área de captação, volume de chuva mensal aproveitável. A demanda foi considerada somente 50% da demanda total devido a limitação das chuvas na região, nunca chove suficiente para suprir toda a demanda.

Tabela 12: Tabela para encontrar o volume do reservatório de armazenamento de água pluvial.

Meses	**Chuva media mensal (mm)**	**Demanda Constante Mensal (m^3)**	**Área de Captação (m^2)**	**Volume de Chuva Mensal (m^3)**	**Diferenças entre os volumes da demanda - vol. De chuva. Col. 3 - Col. 5 (m^3)**	**Diferenças acumuladas da coluna 6 dos valores positivos (m^3)**
	Coluna 1	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
Jan.	33,55	720,00	6740,02	180,88	539,12	539,12
Fev.	81,37	720,00	6740,02	438,76	281,24	820,36
Mar.	77,73	720,00	6740,02	419,11	300,89	1121,25
Abr.	129,81	720,00	6740,02	699,93	20,07	1141,32
Mai.	205,43	720,00	6740,02	1107,67	-387,67	753,65
Jun.	156,26	720,00	6740,02	842,58	-122,58	631,08
Jul.	170,84	720,00	6740,02	921,15	-201,15	429,92
Ago.	111,15	720,00	6740,02	599,30	120,70	550,63
Set.	62,33	720,00	6740,02	336,07	383,93	934,56
Out.	63,67	720,00	6740,02	343,32	376,68	1311,23
Nov.	33,02	720,00	6740,02	178,03	541,97	1853,20
Dez.	28,84	720,00	6740,02	155,49	564,51	2417,71
Total	1153,98	8640		6222 < 8640 m^3/ano		

O volume do reservatório a ser construído deve ser de 2400 m^3 (V= 2400 m^3), utilizando a fórmula acima, encontrou-se um custo de construção em reais de aproximadamente 757.000,00 reais (R$ 757.000,00), esse valor foi considerado no fluxo de caixa como o valor do investimento.

Após ser encontrado o valor do investimento, foram construídas duas tabelas; sendo a primeira para encontrar a economia anual com o uso da água da chuva e a segunda com o fluxo de caixa, considerando o ano 0 como o ano do investimento do valor de R$ 757.000,00 e o valor encontrado na tabela 13 com a economia como sendo os retornos do investimento.

Tabela 13: Tabela para encontrar a economia com a instalação do sistema de captação de água pluvial.

Mês	Preciptação (mm)	Captação Potencial (m³)	Água da Rede Pública				Tratamento da água		Economia
			Sem cisterna		Com cisterna		Sem cisterna	Com cisterna	Com cisterna
			m³	R$	m³	R$	R$	R$	R$
Janeiro	33,55	180,88	1440	22694,4	1259,12	19843,77	2088	2014,595796	2924,035616
Fevereiro	81,37	438,76	1440	22694,4	1001,24	15779,49	2088	1601,979124	7400,926503
Março	77,73	419,11	1440	22694,4	1020,89	16089,28	2088	1633,429283	7059,69228
Abril	129,81	699,93	1440	22694,4	740,07	11663,46	2088	1184,107688	11934,83159
Maio	205,43	1107,67	1440	22694,4	332,33	5237,566	2088	531,7325738	19013,10157
Junho	156,26	842,58	1440	22694,4	597,42	9415,402	2088	955,878356	14411,11984
Julho	170,84	921,15	1440	22694,4	518,85	8177,038	2088	830,1561502	15775,20577
Agosto	111,15	599,30	1440	22694,4	840,70	13249,46	2088	1345,123089	10187,81448
Setembro	62,33	336,07	1440	22694,4	1103,93	17397,94	2088	1766,288557	5618,169155
Outubro	63,67	343,32	1440	22694,4	1096,68	17283,61	2088	1754,681017	5744,110963
Novembro	33,02	178,03	1440	22694,4	1261,97	19888,58	2088	2019,144697	2874,680042
Dezembro	28,84	155,49	1440	22694,4	1284,51	20243,94	2088	2055,222185	2483,239288
Total anual	1153,98	6222,29	17280	272332,8	11057,71	174269,5	25056	17692,33852	105426,9271

O valor considerado como economia anual foi de R$ 105.427,00, o valor da outorga foi utilizado de R$ 15,76/m³ que é o valor da tarifa utilizada pela DESO para água Industrial, acima de 30 m³ mensal. Na economia com o tratamento da água foi utilizado um valor de R$ 1,45/m³ (que é o valor gasto pela indústria), mas foi acrescentado 15% a esse valor devido aos tratamentos internos, desaeração e correção de pH que vão ter que continuar sendo efetuados.

Após encontrado o valor da economia foi construída a tabela 14 a seguir com o fluxo de caixa, VPL, TIR e Payback. Foi utilizado uma taxa mínima de atratividade de 12% (TMA= 12%), considerando um rendimento mensal de 1%, maior que a inflação e um período de 20 anos (n= 20 anos).

Tabela 14: Tabela com fluxo de caixa simples e descontado, VPL, TIR e Payback.

Ano	Fluxo de Caixa Final	Investimento	Fluxo de Caixa Acumulado	Fluxo de Caixa Descontado	Fluxo de Caixa Descontado Acumulado
0	-R$ 757.000,00	-R$ 757.000,00	-R$ 757.000,00	-R$ 757.000,00	-R$ 757.000,00
1	R$ 105.427,00		-R$ 651.573,00	R$ 94.131,25	-R$ 662.868,75
2	R$ 105.427,00		-R$ 546.146,00	R$ 84.045,76	-R$ 578.822,99
3	R$ 105.427,00		-R$ 440.719,00	R$ 75.040,86	-R$ 503.782,13
4	R$ 105.427,00		-R$ 335.292,00	R$ 67.000,76	-R$ 436.781,37
5	R$ 105.427,00		-R$ 229.865,00	R$ 59.822,11	-R$ 376.959,26
6	R$ 105.427,00		-R$ 124.438,00	R$ 53.412,60	-R$ 323.546,66
7	R$ 105.427,00		-R$ 19.011,00	R$ 47.689,82	-R$ 275.856,84
8	R$ 105.427,00		R$ 86.416,00	R$ 42.580,20	-R$ 233.276,64
9	R$ 105.427,00		R$ 191.843,00	R$ 38.018,03	-R$ 195.258,61
10	R$ 105.427,00		R$ 297.270,00	R$ 33.944,67	-R$ 161.313,94
11	R$ 105.427,00		R$ 402.697,00	R$ 30.307,74	-R$ 131.006,19
12	R$ 105.427,00		R$ 508.124,00	R$ 27.060,49	-R$ 103.945,71
13	R$ 105.427,00		R$ 613.551,00	R$ 24.161,15	-R$ 79.784,56
14	R$ 105.427,00		R$ 718.978,00	R$ 21.572,45	-R$ 58.212,11
15	R$ 105.427,00		R$ 824.405,00	R$ 19.261,12	-R$ 38.950,99
16	R$ 105.427,00		R$ 929.832,00	R$ 17.197,43	-R$ 21.753,56
17	R$ 105.427,00		R$ 1.035.259,00	R$ 15.354,85	-R$ 6.398,72
18	R$ 105.427,00		R$ 1.140.686,00	R$ 13.709,68	R$ 7.310,97
19	R$ 105.427,00		R$ 1.246.113,00	R$ 12.240,79	R$ 19.551,76
20	R$ 105.427,00		R$ 1.351.540,00	R$ 10.929,28	R$ 30.481,03

VPL 10 anos	-R$ 161.313,94	Payback Simples			TMA
VPL 20 anos	R$ 30.481,03	Ano: 7	Mês: 2	Dia: 5	12%
TIR 10 anos	6,53%	Payback descontado			
TIR 20 anos	12,64%	Ano: 17	Mês: 5	Dia: 18	

Com esta tabela, obtivemos um VPL em 10 anos negativo de –R$ 161.313,94, o que nos mostra que este projeto não é viável economicamente em 10 anos. O VPL em 20 anos foi positivo e de R$ 30.481,01, o que nos mostra que do ponto de vista do VPL este projeto se torna viável num período de 20 anos.

Analisando a viabilidade econômica de forma gera, vimos que o projeto não é muito atrativo do ponto de vista econômica, quando analisado simplesmente pelo fluxo de caixa gerado, pois o Período de Payback descontado é muito alto, com uma taxa mínima de atratividade relativamente baixo e com TIR final no período de 20 anos muito próximo da TMA. Isso nos mostra que o projeto apesar de ser viável economicamente num período de 20 anos, ele não é muito atrativo.

Mas esse projeto não deve ser levado em conta simplesmente pelo ponto de vista do fluxo de caixa, deve-se considerar que a indústria vai estar contribuindo com o desenvolvimento sustentável, e isso pode ser utilizado como marketing de forma que aumente suas vendas através do novo marketing verde que é um crescente vertente num meio administrativo das grandes corporações.

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após análises efetuadas nas águas de precipitações atmosféricas coletadas ao longo desse trabalho e baseando-se nas hipóteses anteriormente citadas, pode-se considerar que:

- A água coletada diretamente da atmosfera sem interferências de calhas e telhados possui qualidade superior aquelas coletadas pelo método indireto, através de calhas e telhados, porém mesmo tendo a qualidade superior, não deve descartar-se a água coletada indiretamente pois essas também possuem ótima qualidade para uso industrial;
- Entre as águas captadas pelo método indireto, aquela coletada em telhados metálicos tem qualidade superior que a coletada em telhados de material cerâmico. Logo, é preferível para a empresa que pretende captar água pluvial a construção de telhados metálicos, mas não descarta a possibilidade do uso da água de telhados cerâmicos tendo em vista que seus parâmetros também possuem boa qualidade para uso industrial;
- Vimos que, principalmente na coleta indireta, a quantidade de chuva afeta na qualidade da água captada, então é recomendado que seja descartado os primeiros 10 minutos ou os primeiros 2mm de chuva, para que seja efetuado a lavagem dos telhados e calhas.
- Através da análise econômica, vimos que o projeto só se torna viável para uma indústria deste porte, do ponto de vista simplesmente financeiro, a partir do décimo sétimo ano de instalação e que em um período de 20 anos esse projeto é rentável, utilizando uma TMA de 12%. Para empresas que tenham um consumo menor de água ou que operem em circuitos fechados esse sistema pode se tornar mais rentável economicamente, empresas como hospitais, hotéis, termoelétricas e cozinhas industriais.

- Vimos que não deve ser levado em consideração somente o ponto de vista econômico. Deve ser considerado o ponto de vista do desenvolvimento sustentável, marketing verde, certificações e valor agregado do produto, que podem tornar o projeto mais viável e em menor prazo.

Por fim, podemos concluir que esse trabalho teve seu objetivo alcançado, uma vez que provamos ser viável técnica e economicamente o uso de águas pluviais na alimentação de caldeiras industriais sendo uma forma de economia de um recurso natural escasso e de extrema importância para a manutenção da qualidade de vida do nosso planeta.

6.2 PROPOSTAS FUTURAS

Como sugestões de trabalhos futuros temos:

- Estudar a viabilidade da captação e uso de água da chuva em indústrias de menor porte e que usem o vapor como forma de gerar energia, como usinas de açúcar, álcool, aguardente e termoelétricas e em empresas que usem a caldeira sem a finalidade industrial como hospitais, hotéis e cozinhas;
- Propor projetos de lei e normas a respeito do uso de água da chuva em estabelecimentos públicos e comerciais como mercados, escolas, shoppings, postos de combustíveis, hospitais, universidades, hotéis, entre outros;
- Construir um sistema de captação de água pluvial e analisar a economia real no tratamento da água e no custo de outorga e verificar com o valor considerado na estimativa de custos do projeto.
- Quantificar os níveis de metais pesados e microbiológicos para verificar a possibilidade do uso da agua da chuva não só em industrias, mas também com uso potável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANNECCHINNI, Vaccari Ponzo Karla. **APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA PARA FINS NÃO POTÁVEIS NA CIDADE DE VITÓRIA (ES).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santos. 2005. Disponível em: <http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_6582_VERS%C3O%20final%20-%20Karla%20Ponzo.PRN.pdf> Acesso em: 03 abr. 2016.

- AQUATEC: ÁGUAS INDUSTRIAIS: SISTEMAS E PROGRAMAS DE TRATAMENTO. São Paulo. Aquatec Química S/A. (Ano Não Disponível).

- ARACAJU. Semarh. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hidricos. **DIAGNÓSTICO DA BACIA DO RIO SERGIPE:** OFICINA TEMÁTICA. 2007. Disponível em: <http://www.semarh.se.gov.br/planosderecursoshidricos/files/documentos/projetos/pbh/apresentacao_completa_sergipe.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2015.

- ARAÚJO, José Vicente Granato de; REIS, R. P. A.; ROCHA, B.C.C.M. **CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS DE CHUVA COLETADAS EM COBERTURAS DE DIFERENTES MATERIAIS VISANDO SEU APROVEITAMENTO**. In: 25 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009, Recife, PE. Anais Eletrôcinos do 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, RJ: Editora da ABES, 2009. p. 21-26. Disponível em: <http://www.cesec.ufpr.br/sispred/atas/artigos/250_final.pdf> Acesso em: 18 mar. 2016.

- ASME, 2010 ASME **BOLILER AND PRESSURE VESSEL CODE**, an internacional code, VII Recommended Guidelines for the Care of Power Boilers, United States of America, New York, NY, July 1, 2011. Disponível em: <https://law.resource.org/pub/us/code/ibr/asme.bpvc.vii.2010.pdf> Acesso em: 14 mar. 2016.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527:2007**: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro: Abnt, 2007. 8 p.

- AZEVEDO, R. F.; CAMPOS, M. M**. APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA CONSUMO HUMANO DIRETO**. Jornal Eletrônico das Faculdades Integradas Vianna Júnior, v. 5, p. 23-42, 2013. Disponível em: <http://www.viannajr.edu.br/files/uploads/20130523_155633.pdf> Acesso em: 15 mar. 2016.

- BACARIM, Gisele. **PROPOSTA METODOLÓGICA PARA CAPACITAÇÃO EM EDUCAÇÃO AMBIENTAL POR MEIO DE OFICINAS TEMÁTICAS E AMBIENTES VIRTUAIS**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Matemática) – Universidade de Caxias do Sul. 2014. Disponível em:

<https://repositorio.ucs.br/jspui/bitstream/11338/950/1/Dissertacao%20Gisele%20Bacarim.pdf > Acesso em: 18 mar. 2016.

- BARLOW, Maude. **ÁGUA PACTO AZUL:** A CRISE GLOBAL DA ÁGUA E A BATALHA PELO CONTROLE DA ÁGUA POTÁVEL NO MUNDO. São Paulo: M. Books do Brasil, 2009.

- BDMEP, Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> Acesso em: 23 mar. 2016.

- BOTELHO, M.H.C.; BIFANO, H.M.- **OPERAÇÃO DE CALDEIRA**. São Paulo, SP, 2011. ISBN 978-85-212-0588-3.

- BRASIL. Adriana Niemeyer Pires Ferreira. Ministério do Meio Ambiente. **Águas Subterrâneas:** um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília: Agência Crio – Comunicação e Negócios, 2007. 40 p. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/downloads/ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2015.

- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água:** resultados por estado. 2010. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/atlas/Atlas_ANA_Vol_02_Regiao_Nordeste.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2015.

- BRASIL. Ministério da Saúde. Vigilância da Qualidade da Agua para Consumo Humano. Portaria n. 518, de 25 de março de 2004. Disponível em: <http://www.aeap.org.br/doc/portaria_518_de_25_de_marco_2004.pdf>. Acesso em: 17/01/2017.

- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **MANUAL DE CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA TÉCNICOS QUE TRABALHAM EM ETAS.** Brasília: Funasa, 2014. 112 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2016.

- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 13** - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO E TUBULAÇÕES. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2014. Disponível em: <http://acesso.mte.gov.br/data/files/8A7C816A45B266980145CD35F91A69E4/Portaria%20n.%C2%BA%20594%20(Nova%20NR-13).pdf>. Acesso em: 17 jan.2016.

- BRITISH STANDARDS BS 2486:1997.: RECOMMENDED WATER CHARACTERISTICS FOR FIRED WATER TUBE BOILERS. London. British Standards Institution. 1997.

- BRUNI, A. L.; FAMÁ, R.; SIQUEIRA, J. O. **ANÁLISE DO RISCO NA AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE INVESTIMENTO:** Uma Aplicação do Método de Monte Carlo. Caderno de Pesquisas Em Administração, São Paulo, v. 1, n.6, p. 62-74, 1998. Disponível em: <http://www.regeusp.com.br/arquivos/c6-Art7.pdf> Acesso em: 17 mar. 2016.

- BUCKMAN: **INTRODUÇÃO AO TRATAMENTO DE ÁGUAS INDUSTRIAIS.** Por Luis W. B. Pace. Campinas. Buckman Laboratórios Ltda. 1997.

- BUENO, S. I. O. **AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE DUTOS COM DEFEITOS DE CORROSÃO COINCIDENTES COM A SOLDA LONGITUDINAL.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO - PUC-RIO. 2007. Disponível em:<http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=10728@1> Acesso em: 19 mar. 2016.

- CHAPMAN, Deborah; **WATER QUALITY ASSESSMENTS** - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition, 1992, 1996 UNESCO/WHO/UNEP. ISBN 0 419 21590 5 (HB) 0 419 21600 6 (PB). Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqachapter3.pdf> Acessado em: 18 mar. 2016.

- CLESCERI, L: S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** 20Th Edition, Washington, DC: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 1998. 1325p. Disponível em: <http://www.amazon.com/Standard-Methods-Examination-Water-Wastewater/dp/0875532357> Acesso em: 15 mar. 2016.

- COHIDRO (Aracaju/SE). Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe. **PERÍMETRO IRRIGADO PIAUÍ.** Disponível em: <http://www.cohidro.se.gov.br/modules/tinyd0/index.php?id=23>. Acesso em: 19 mar. 2016.

- DAMODARAN, A. **AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTO: FERRAMENTAS E TÉCNICAS PARA A DETERMINAÇÃO DO VALOR DE QUALQUER ATIVO.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

- DEDINI: RECOMENDAÇÕES DE FABRICANTE. Piracicaba. Dedini S/A Indústrias de Base. (Ano não Disponível).

- DREW: TRATAMENTO DE ÁGUA APLICADO ÀS CALDEIRAS MARÍTIMAS. São Paulo. Drew Produtos Químicos S/A. 1984.

- ENDLER Luciana. **AVALIAÇÃO DE EMPRESAS PELO MÉTODO DE FLUXO DE CAIXA DESCONTADO E OS DESVIOS CAUSADOS PELA UTILIZAÇÃO DE TAXAS DE DESCONTO INADEQUADAS**. ConTexto, Porto Alegre, v. 4, n. 6, 1° semestre 2004.

- FREIRE, Cleuda Custódio; OMENA, Sylvia Paes Farias de. Princípios da Hidrologia Ambiental: Hidrologia. In: **Curso de Aperfeiçoamento em Gestão de Recursos Hídricos.** Florianópolis: CtHidro, 2005. Cap. 1. p. 1-13. Disponível em: <http://capacitacao.ana.gov.br/Lists/Editais_Anexos/Attachments/23/03.PHidrologiaAmb-GRH-220909.pdf> Acesso em: 30 nov. 2015.

- FRITZSONS, Elenice ; MANTOVANI, Luiz Eduardo ; CHAVES NETO, Anselmo ; HINDI, Eduardo Chemas . **A INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES MINERADORAS NA ALTERAÇÃO DO PH E DA ALCALINIDADE EM ÁGUAS FLUVIAIS:** o exemplo do rio Capivari, região do carste paranaense. Engenharia Sanitária e Ambiental (Online) , v. 14, p. 381-390, 2009. ISSN 1809-4457 Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522009000300012> Acesso em: 18 mar. 2016.

- GARCIA, M. S. .A INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO NA PLANTA DE VAPOR. 2009. (Apresentação de Trabalho/Congresso). Disponível em: <http://www.scribd.com/doc/286349372/QualidadeAguaCald-pdf#scribd> Acesso em: 09 mar. 2016.

- GHISI, Enedir; GUGEL, C. Eloir; **INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUAS PLUVIAIS**, Florianópolis, Junho de 2005. Diaponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/AguaPluvial_EGhisi_atualizada.pdf> Acesso em: 11 jan. 2016.

- GIL, Antonio Carlos. **COMO ELABORAR PROJETOS DE PESQUISA.** São Paulo: Atlas, Ed. 4, 2002. Disponível em: <https://professores.faccat.br/moodle/pluginfile.php/13410/mod_resource/content/1/como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf> Acessado em: 19 mar. 2016.

- GITMAN, L. J. **PRINCÍPIOS DE ADMINISTRAÇÃO FINANCEIRA**. 10ª edição, São Paulo: Harbra. 2007. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/10791445/principios-de-administracao-financeira-10ed--lawrence-j-gitman> Acesso em 16 mar. 2016.

- GLOBO (Aracaju). **Deso confirma que SE desperdiça 50% da água potável que produz:** Sistema de Informações sobre Saneamento só tolera 20% de desperdício. Deso diz que vazamentos e ligações clandestinas são principais causas. 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/se/sergipe/noticia/2015/08/deso-confirma-que-se-desperdica-50-da-agua-potavel-que-produz.html>. Acesso em: 17 nov. 2015.

- GLOBO (Campina Grande). **Http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2015/08/cagepa-confirma-ampliacao-do-racionamento-em-campina-grande.html:** Medida atende uma determinação da ANA e atinge CG e outras 18 cidades. Novo modelo de racionamento deve ser implantando em 1º de novembro.. 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2015/08/cagepa-confirma-ampliacao-do-racionamento-em-campina-grande.html>. Acesso em: 05 nov. 2015.

- GOMES, M.A.F. **A ÁGUA NOSSA DE CADA DIA.** Revista Panorama Rural. Ano XI, n. 122 – abril 2009. p. 44 – 48.

- GONÇALVES, Ricardo Franci (Coord.) (2006). **Uso racional de água em edificações.** Rio de Janeiro: ABES. v.5. 352 p. (Projeto PROSAB, Edital 4).

- GOUVÊA, C. A. K. ; HURTADO, A. L. B. ; BORZIO, R. F. ; FOLLETTO, M. A. . **USO DE ÁGUA TRATADA POR OSMOSE REVERSA PARA A GERAÇÃO DE VAPOR EM INDÚSTRIA DE TABACO.** Revista Produção Online , v. 12, p. 522-536, 2012. Disponível em: < http://producaoonline.org.br/rpo/article/view/941> Acesso em: 11 mar. 2016 às 11h15.

- HAGEMANN, Elicker Sabrina. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA E DA VIABILIDADE DE SUA CAPTAÇÃO E USO.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. 2009. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_arquivos/20/TDE-2009-04-22T164624Z-1996/Publico/HAGEMANN,%20SABRINA%20ELICKER.pdf> Acesso em: 02 abr. 2016.

- ILLINOIS STATE WATER SURVEY, **Guides and Recommended Procedures For Water Treatment Forms Annual Report.** Urbana, Illinois 61801, 1973. Disponível em: <https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/48692/ISWSMP-50.pdf?sequence=2> Acesso em: 18 mar. 2016.

- JAQUES, Campolino Reginaldo. **QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS E SUA POTENCIALIDADE PARA APROVEITAMENTO EM EDIFICAÇÕES.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. 2005. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/04campolino.pdf> Acesso em: 18 mar. 2016.
- JOSEPH Singer P.E., **COMBUSTION** – Fossil Power, published by Combustion Engineering, Inc. ISBN 0-9605974-0-9. 1991.

- KALAKODIMI, Rajendra Prasad; ESMACHER, Mel J.. **Boiler Chemistry Management Using Coordinated Approach of Chemicals, Membranes and Online Monitoring.** Trevose (eua): Ge Water And Process Technologies, 2009. (Technical Paper). TP 1174 EN. Disponível em: <https://www.gewater.com/kcpguest/salesedge/documents/Technical Papers_Cust/Americas/English/TP1174EN.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2016.

- KENNY, Steve; POPE, Dave; **BASIC WATER TREATMENT OF STEAM BOILERS.** Chemco Water Technology. Western Dry Kiln Association. Vancouver, WA, 2000. Disponível em: <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/5199/Basic_Water_ocr.pdf> Acesso em: 18 mar. 2016.

- KUBLER, Helene; FORTIN, Alex; MOLLETA, Lucas. **REÚSO DE ÁGUA NAS CRISES HÍDRICAS E OPORTUNIDADES NO BRASIL.** São Paulo: Abes, 2015. 43 p. Disponível em: <http://abes-dn.org.br/pdf/Reuso_nas_Crises.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2016.

- KURITA: RECOMENDAÇÕES A CLIENTES. São Paulo. Kurita do Brasil Ltda. 2001.

- LACERDA, Guilherme Araújo. **Manual de aulas práticas em análises ambientais.** Divinópolis: Unifenas, 2009. 58 p. Disponível em: <http://www.slideshare.net/GuilhermeArajoLacerda/manual-de-aulas-prticas-em-anlises-ambientais?from_action=save>. Acesso em: 14 mar. 2016.

- MACEDO, M. A. S.; LUNGA, Aloizio. **Mapeamento Bibliométrico e Crítico da Análise de Viabilidade Econômico-Financeiro de Projetos em Agronegócios**: uma avaliação da publicação no congresso da SOBER no período 2006-2009. Custos e @gronegócio Online , v. 6, p. 67, 2010. Disponível em: <http://sober.org.br/palestra/6/455.pdf> Acesso em: 16 mar. 2016.

- MELLO, W. Z. **PRECIPITATION CHEMISTRY IN THE COAST OF THE METROPOLITAN REGION OF RIO DE JANEIRO, BRAZIL.** Environmental Pollution, v. 114, p. 235-242, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652008000200016> Acesso em: 10 abr. 2016.

- MEPPAM: MANUAL DE INSTRUÇÕES DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO. Sertãozinho. Meppam Equipamentos Industriais Ltda. Ano Não Disponível.

- MICHAUD, Chubb**. Application Notes: Water Softening Basics. Purolite® Water Softening Resin Guide,** 2007. Disponível em: <http://www.purolite.com/relid/606346/isvars/default/customized/uploads/pdfs/appnotes_watersofteningbasics_9_20_07_js blend.pdf> Acesso em: 21 mar. 2016.

- MORAN M. J., SHAPIRO H. N. Princípios de Termodinâmica para Engenharia. 4ª ed. Rio de Janeiro (RJ): ABDR; 2002. Capítulo 8, Sistemas de Potência a Vapor; p. 261-293.

- NALCO: CONDITIONING WATER FOR BOILERS. Chicago. Nalco Chemical Company. 1962.

- NCDENR, **Boiler Chemicals 101**. N.C. Division of Pollution Prevention and Environment Assistance, June, 2004. Disponível em: <http://infohouse.p2ric.org/ref/32/31321.pdf> Acesso em: 18 mar. 2016.

- ONU (Organização das Nações Unidas). **6º FÓRUM MUNDIAL DA ÁGUA:** FATOS SOBRE ÁGUA E SANEAMENTO. 2012. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/temas-agua/>. Acesso em: 18 nov. 2015.

- PARRON, L. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água** [recurso eletrônico] / Lucila Maria Parron; Daphne Heloisa de Freitas Muniz; Claudia Mara Pereira. – Dados eletrônicos. – Colombo: Embrapa Florestas, 2011. (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958; 219).

- PIVELI, R. P. Curso Qualidade das águas e poluição: **ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS. AULA 6 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS:** pH, ACIDEZ, ALCALINIDADE E DUREZA. USP, 2010. Disponível em: <www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=732> Acesso em: 18 mar. 2016.

- PWTB., PUBLIC WORKS TECHNICAL BULLETIN 420-49-05 **INDUSTRIAL WATER TREATMENT PROCEDURES**. DEPARTMENT OF THE ARMY U.S. Army Center for Public Works, FEBRUARY 1998, USA, Alexandria, VA. Disponível em:

<https://www.wbdg.org/ccb/ARMYCOE/PWTB/pwtb_420_49_5.pdf> Acesso em: 18 mar. 2016.

- REBELATTO, D. A. N. **PROJETO DE INVESTIMENTO**. 1. ed. Barueri - SP: Editora Manole, 2004. v. 01. 329p.

- REBOUCAS, Aldo da C.. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. Estud. av., São Paulo, v. 11, n. 29, p. 127-154, Apr. 1997. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141997000100007&lng=en&nrm=iso>. Accesso em: 15 ago. de 2016.

- REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galizia. **ÁGUAS DOCES NO BRASIL:** CAPITAL ECOLÓGICO, USO E CONSERVAÇÃO. 4. ed. São Paulo: Escrituras, 2015. 732 p.

- RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. de A. Tratamento de água- Tecnologia atualizada. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1991.

- RODRIGUES, K. F. C.; ROZENFELD, H. **Seleção e aplicação de métodos de avaliação de investimentos na gestão de portfólio de projetos de desenvolvimento de produtos e serviços**. In: Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento, 2013, Natal. Anais do 9º CBGDP, 2013. Disponível em: <http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/view/full/16434> Acesso em: 16 mar. 2016.

- SAHRA - HOME WATER TESTING (Arizona). **Distillation.** 2005. Disponível em: <http://cierzo.sahra.arizona.edu/programs/akyw/distillation.html>. Acesso em: 19 mar. 2016.

- SANASA (Campinas/SP). **A ÁGUA NO NOSSO PLANETA - ESTATÍSTICAS I.** 2006. Disponível em: <http://www.sanasa.com.br/noticias/not_con3.asp?par_nrod=525&flag=PC-2>. Acesso em: 05 nov. 2015.

- SANTI, de Giuseppe & IORI, Valentino. **FIRE TUBE BOILER.** US 20130125840 A1, 23 maio 2013.

- SENAI (Rio de Janeiro). Dir. de Educação e Dir. de Saúde do Trabalho. **Segurança na Operação de Caldeiras:** caderno do participante. Rio de Janeiro: Firjan, 2008. Disponível em: <http://www.scribd.com/doc/282370833/Seg-Oper-Caldeiras-Cad-Doc2009#scribd>. Acesso em: 17 jan. 2016.

- SENAI (São Paulo). Diretoria Técnica. **Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras:** Tratamento de Água de Alimentação de Caldeiras. São Paulo: Departamento Regional do Senai-SP, 2004, 33p.

- SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos da química analítica**. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006. 1124 p.

- SKOOG, WEST, HOLLER, CROUCH, **FUNDAMENTOS DE QUÍMICA ANALÍTICA**, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo/SP, 2006. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/1779075/fundamentos-de-quimica-analitica-8-ed---portugues---skoog> Acesso em: 18 mar. 2016.

- TOMAZ, P. **APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA DE TELHADOS EM ÁREAS URBANAS E FINS NÃO POTÁVEIS** – Diretrizes básicas para um projeto. 6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água da Chuva. Belo Horizonte, MG. julho de 2007. Disponível em: <http://abcmac.org.br/files/simposio/6simp_plinio_agua.pdff>. Acesso em: 10 jan. 2016.

- TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis:** 1. ed. São Paulo: Navegar Editora, 2003. 180 p. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/livro_conservacao/capitulo8.pdf> Acesso dia 05 jan. 2016.

- TOMAZ, P.; **APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA DE COBERTURA EM ÁREAS URBANAS E FINS NÃO POTÁVEIS**, Dezembro de 2009. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/livro_conservacao/capitulo8.pdf> Acesso em: 11 jan. 2016.

- TORDO, Olga Catarina. **CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO USO DE ÁGUAS DE CHUVA PARA FINS POTÁVEIS**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau. 2004. Disponível em: < https://oatd.org/oatd/record?record=oai%5C%3Aproxy.furb.br%5C%2Ftede%5C%3A30> Acesso em: 10 jan. 2016.

- TROVATI, Joubert. **TRATAMENTO DE ÁGUA PARA GERAÇÃO DE VAPOR:** CALDEIRAS. 2009. Disponível em: <http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua-Caldeira.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2016.

- **Tucci, C.E.M. HIDROLOGIA:** CIÊNCIA E APLICAÇÃO. 2ª Ed., Porto Alegre. Rio Grande do Sul (RS). Editora Universidade. **2000**. 943p.

- TUNDISI, José Galizia. **Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado**. *Cienc. Cult.* [online]. 2003, vol.55, n.4, pp. 31-33. ISSN 2317-6660. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400018> Acesso dia: 17 nov. 2015.

- VALLE, J. A. B. ; PINHEIRO, Adilson ; CIPRIANO, Rodrigo Felipe Pfau ; FERRARI, Adilvo . **APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA**: AVALIAÇÃO DO SEU TRATAMENTO PARA FINS POTÁVEIS. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-024.pdf> Acesso em: 18 mar. 2016.

- VELOSO, Nircele da Silva Leal; MENDES, Ronaldo Lopes Rodrigues. **ASPECTOS LEGAIS DO USO DA ÁGUA DA CHUVA NO BRASIL E A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**: NOTAS TEÓRICAS. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais.** Bento Gonçalves: Abrh, 2013. p. 1 - 8. Disponível em: <http://livrozilla.com/doc/1681539/aspectos-legais-do-uso-da-água-da-chuva>. Acesso em: 04 jan. 2016.

- VIEIRA, S.; HOFFMANN, R. **Estatística experimental**. São Paulo: Atlas, 1989. 175p.

- VIEIRA, V.P.P.B. **Desenvolvimento sustentável e gestão de recursos hídricos no Nordeste semi-árido**. Fortaleza, II Simp. de Rec. Hidr. do Nordeste, Anais, p 1-10, 1994.

- VOGEL, A.I. ***Análise Química Quantitativa*.** 5ª.edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1992.

- VOGEL, **ANÁLISE QUÍMICA QUANTITATIVA**, 6ª Edição, LTC Editora, Rio de Janeiro-RJ, 2002. Versão Espanhol disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfsckAA/quimica-analitica-quantitativa-vogel#> Acesso em: 18 mar. 2016.

- World Health Organization (WHO). **Reuse of effluents:** methods of wastewater treatment and health safeguards. Report of a WHO Meeting of Experts. Geneva, World Health Organization (Technical Report Series No. 517), 1973. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/41032/1/WHO_TRS_517.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2016.

APÊNDICE

APÊNDICE A

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE TODAS AS AMOSTRAS COLETADAS

Parâmetros	01 (IFS) M.D	02 (IFS) M.D	3 (IFS) M.D	4 (IFS) M.D	5 (IFS) M.D	6 (IFS) M.D	1 (IFS) M.I	2 (IFS) M.I	3 (IFS) M.I	4 (IFS) M.I	5 (IFS) M.I	6 (IFS) M.I
pH	5,590	*5,240*	6,040	*5,950*	5,280	6,130	5,660	5,370	5,870	5,660	6,210	5,680
Alcalinidade	*3,880*	*1,620*	*2,150*	*1,850*	1,610	2,720	9,360	10,440	*9,800*	*10,000*	10,060	9,550
Acidez Total	*6,490*	*4,440*	*4,210*	*3,120*	4,280	5,130	4,850	12,480	*10,400*	*11,000*	4,540	6,860
Condutividade	*12,360*	*14,480*	*18,540*	*22,370*	21,170	18,320	25,500	30,420	*30,640*	*27,000*	40,650	40,850
STD	*6,071*	*7,112*	*9,106*	*10,987*	*10,398*	*8,998*	14,020	14,970	*14,610*	*13,260*	19,960	20,060
Dureza Total	*2,980*	*3,580*	*4,120*	*4,160*	3,840	4,540	5,160	7,120	*8,160*	*9,000*	10,120	8,620
Dureza de Cálcio	*1,960*	*3,150*	*2,960*	*3,230*	2,690	3,530	2,450	3,160	*3,250*	*3,680*	4,410	3,870
Dureza de Magnésio	*1,020*	*0,430*	*1,160*	*0,930*	*1,150*	1,010	2,710	3,960	*4,910*	*5,320*	5,710	4,750
Cloretos	*0,830*	*1,850*	*0,750*	*1,590*	0,620	0,950	4,900	10,500	*5,980*	*9,500*	6,520	13,840
Ferro Total	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Turbidez	0,210	0,640	0,670	1,210	0,200	1,620	0,260	0,560	0,820	0,700	2,360	1,150
Oxigênio Dissolvido	2,720	4,450	5,690	8,110	6,840	6,120	8,850	9,120	8,880	9,400	8,640	8,640

Parâmetros	01 (E.G) M.D	2 (E.G) M.D	3 (E.G) M.D	4 (E.G) M.D	5 (E.G) M.D	6 (E.G) M.D	1 (E.G) M.I	2 (E.G) M.I	3 (E.G) M.I	4 (E.G) M.I	5 (E.G) M.I	6 (E.G) M.I
pH	5,880	*5,780*	6,690	*6,290*	5,980	6,120	5,980	6,110	5,040	6,180	5,540	6,090
Alcalinidade	*6,450*	*7,580*	*9,000*	*8,360*	4,560	6,110	6,620	7,660	8,700	6,840	10,440	7,880
Acidez Total	*6,220*	*4,000*	*4,440*	*5,140*	3,940	4,120	3,550	4,220	4,120	10,400	8,320	6,290
Condutividade	*24,800*	*21,900*	*29,700*	*20,850*	21,170	15,600	62,500	51,980	104,600	373,000	442,800	214,900
STD	*12,180*	*10,756*	*14,587*	*10,241*	*10,398*	*7,662*	34,380	25,530	52,500	205,200	218,800	105,500
Dureza Total	*2,520*	*3,160*	*2,980*	*2,690*	2,960	3,710	10,190	12,120	15,120	6,240	10,800	8,240
Dureza de Cálcio	*1,540*	*2,080*	*1,770*	*1,880*	2,540	3,530	3,780	3,710	4,480	1,360	2,160	1,890
Dureza de Magnésio	*0,980*	*1,080*	*1,210*	*0,810*	*0,420*	*0,180*	*6,410*	*8,410*	*10,640*	*4,880*	*8,640*	*6,350*
Cloretos	*3,270*	*3,480*	*3,480*	*4,120*	5,120	3,780	13,480	16,480	14,200	125,000	99,400	22,500
Ferro Total	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Turbidez	1,700	0,500	1,800	0,620	1,942	1,180	1,340	0,870	4,150	0,400	3,400	1,120
Oxigênio Dissolvido	2,870	9,180	9,730	9,080	7,540	8,690	7,230	9,740	9,250	9,010	8,600	9,360

Parâmetros	01 (Aju) M.D	2 (Aju) M.D	3 (Aju) M.D	4 (Aju) M.D	5 (Aju) M.D	6 (Aju) M.D	1 (Aju) M.I	2 (Aju) M.I	3 (Aju) M.I	4 (Aju) M.I	5 (Aju) M.I	6 (Aju) M.I
pH	6,660	*7,250*	5,880	*6,040*	6,700	6,840	7,570	6,850	6,330	7,151	7,210	7,000
Alcalinidade	*3,150*	*4,210*	*2,440*	*3,120*	2,850	3,070	7,240	6,150	8,000	8,103	13,500	10,440
Acidez Total	*10,400*	*9,150*	*6,220*	*4,000*	3,860	4,120	3,160	1,800	10,000	4,280	5,120	3,110
Condutividade	*9,840*	*7,440*	*11,640*	*12,150*	16,600	18,150	7,440	8,490	12,170	39,500	52,340	30,420
STD	*4,833*	*3,654*	*5,717*	*5,968*	*8,153*	*8,915*	*3,654*	*4,170*	*5,977*	*19,401*	*25,707*	*14,941*
Dureza Total	*4,320*	*3,240*	*2,160*	*3,110*	2,950	2,145	3,480	5,120	2,160	8,880	12,880	13,640
Dureza de Cálcio	*3,150*	*1,960*	*2,160*	*2,080*	1,840	2,010	1,440	2,050	0,820	3,870	5,110	6,480
Dureza de Magnésio	*1,170*	*1,280*	*0,000*	*1,030*	*1,110*	*0,135*	*2,040*	*3,070*	*1,340*	*5,010*	*7,770*	*7,160*
Cloretos	*5,760*	*5,350*	*3,800*	*4,060*	3,940	5,110	6,330	7,080	6,960	8,120	7,000	10,500
Ferro Total	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Turbidez	0,700	1,115	3,700	0,500	0,300	2,130	0,360	1,080	1,210	1,760	2,310	1,910
Oxigênio Dissolvido	9,000	6,330	2,870	9,080	8,560	7,960	8,560	10,300	7,690	9,740	8,960	8,260

ANEXOS

ANEXO A

DADOS C OMPLETOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA CIDADE DE ITABAIANINHA - SERGIPE

BDMEP - INMET

Estação: ITABAIANINHA - SE (OMM: 83195)

Latitude (graus) : -11.11

Longitude (graus) : -37.81

Altitude (metros): 208.00

Estação Operante

Início de operação: 06/08/1923

Período solicitado dos dados: 01/01/2005 a 01/01/2015

Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

Hora em UTC

Estação	Data	Hora	Num. Dias Precipitação	Precipitação Total
83195	31/01/2005	0	3	36,50
83195	28/02/2005	0	10	105,40
83195	31/03/2005	0	10	73,40
83195	30/04/2005	0	22	168,90
83195	31/05/2005	0	22	168,60
83195	30/06/2005	0	22	120,90
83195	31/07/2005	0	26	238,10
83195	31/08/2005	0	22	98,80
83195	30/09/2005	0	11	19,90
83195	31/10/2005	0	6	3,80
83195	30/11/2005	0	5	2,90
83195	31/12/2005	0	7	21,30
83195	31/01/2006	0	11	29,60
83195	28/02/2006	0	6	6,4
83195	31/03/2006	0	9	88,5
83195	30/04/2006	0	17	128,00
83195	31/05/2006	0	22	129,9
83195	30/06/2006	0	24	360,6
83195	31/07/2006	0	24	270,7
83195	31/08/2006	0	23	101,2
83195	30/09/2006	0	12	147,00
83195	31/10/2006	0	14	106,5
83195	30/11/2006	0	8	54,8
83195	31/12/2006	0	4	1,4
83195	31/01/2007	0	3	35,8
83195	28/02/2007	0	16	140,8

83195	31/03/2007	0	20	187,00
83195	30/04/2007	0	16	229,8
83195	31/05/2007	0	21	196,9
83195	30/06/2007	0	23	142,8
83195	31/07/2007	0	17	96,5
83195	31/08/2007	0	23	108,9
83195	30/09/2007	0	19	82,00
83195	31/10/2007	0	14	22,5
83195	30/11/2007	0	9	36,2
83195	31/12/2007	0	8	29,2
83195	31/01/2008	0	7	17,1
83195	29/02/2008	0	6	52,1
83195	31/03/2008	0	16	133,5
83195	30/04/2008	0	17	111,3
83195	31/05/2008	0	25	189,5
83195	30/06/2008	0	23	154,7
83195	31/07/2008	0	24	130,4
83195	31/08/2008	0	22	96,00
83195	30/09/2008	0	14	107,8
83195	31/10/2008	0	15	59,9
83195	30/11/2008	0	2	9,8
83195	31/12/2008	0	6	39,4
83195	31/01/2009	0	4	17,3
83195	28/02/2009	0	8	75,7
83195	31/03/2009	0	5	2,9
83195	30/04/2009	0	13	55,00
83195	31/05/2009	0	24	478,00
83195	30/06/2009	0	18	97,8
83195	31/07/2009	0	21	122,1
83195	31/08/2009	0	24	153,00
83195	30/09/2009	0	12	37,1
83195	31/10/2009	0	8	32,4
83195	30/11/2009	0	1	0,5
83195	31/12/2009	0	3	17,8
83195	31/01/2010	0	6	16,00
83195	28/02/2010	0	13	139,3
83195	31/03/2010	0	14	107,00
83195	30/04/2010	0	16	190,8
83195	31/05/2010	0	15	143,6
83195	30/06/2010	0	26	232,3
83195	31/07/2010	0	28	260,4
83195	31/08/2010	0	24	109,7
83195	30/09/2010	0	17	77,5
83195	31/10/2010	0	6	47,8

83195	30/11/2010	0	5	2,4
83195	31/12/2010	0	4	5,7
83195	31/01/2011	0	7	77,7
83195	28/02/2011	0	10	82,5
83195	31/03/2011	0	11	106,7
83195	30/04/2011	0	19	221,6
83195	31/05/2011	0	20	166,1
83195	30/06/2011	0	13	81,2
83195	31/07/2011	0	21	107,5
83195	31/08/2011	0	18	83,1
83195	30/09/2011	0	13	29,4
83195	31/10/2011	0	9	123,10
83195	30/11/2011	0	13	86,10
83195	31/12/2011	0	5	15,30
83195	31/01/2012	0	14	33,70
83195	29/02/2012	0	13	122,00
83195	31/03/2012	0	5	42,10
83195	30/04/2012	0	8	12,90
83195	31/05/2012	0	13	116,60
83195	30/06/2012	0	18	70,20
83195	31/07/2012	0	21	108,90
83195	31/08/2012	0	21	125,60
83195	30/09/2012	0	12	61,80
83195	31/10/2012	0	15	45,00
83195	30/11/2012	0	2	4,80
83195	31/12/2012	0	2	8,70
83195	31/01/2013	0	8	73,20
83195	28/02/2013	0	6	20,90
83195	31/03/2013	0	5	11,60
83195	30/04/2013	0	12	144,20
83195	31/05/2013	0	18	244,00
83195	30/06/2013	0	21	163,20
83195	31/07/2013	0	24	241,50
83195	31/08/2013	0	25	134,50
83195	30/09/2013	0	14	56,20
83195	31/10/2013	0	12	143,70
83195	30/11/2013	0	11	74,90
83195	31/12/2013	0	9	124,50
83195	31/01/2014	0	1	22,00
83195	28/02/2014	0		86,10
83195	31/03/2014	0		73,30
83195	30/04/2014	0		69,70
83195	31/05/2014	0		102,40
83195	30/06/2014	0		155,20

83195	31/07/2014	0	211,40
83195	31/08/2014	0	103,70
83195	30/09/2014	0	38,90
83195	31/10/2014	0	76,30
83195	30/11/2014	0	84,20
83195	31/12/2014	0	27,80
83195	31/01/2015	0	10,1
83195	28/02/2015	0	63,9
83195	31/03/2015	0	29
83195	30/04/2015	0	95,7
83195	31/05/2015	0	324,1
83195	30/06/2015	0	140
83195	31/07/2015	0	91,7
83195	31/08/2015	0	108,1
83195	30/09/2015	0	28
83195	31/10/2015	0	39,4
83195	30/11/2015	0	6,6
83195	31/12/2015	0	26,1

ANEXO B

CERTIFICADO DE PREMIAÇÃO DE TRABALHO APRESENTADO NO 2º CONGRESSO INTERNACIONAL RESAG 2015

2° CONGRESSO INTERNACIONAL
RESAG 2015
GESTÃO DA ÁGUA E MONITORAMENTO AMBIENTAL
CADA GOTA CONTA
CERTIFICADO
Certificamos que
o trabalho "Análise da Qualidade da Água da Chuva para Uso em Caldeiras Industriais" apresentado por Luam de Oliveira Santos, Williame Farias Ribeiro e Silvanito Alves Barbosa, foi classificado em 1º lugar na categoria "Sistemas de Reúso da Água", no 2º Congresso Internacional Resag 2015 - Gestão de Água e Monitoramento Ambiental, realizado de 09 a 11 de dezembro de 2015, em Aracaju–SE.
São Paulo, 11 de dezembro de 2015.
Vera Maria Lopes Ponçano
Coordenadora Geral
2º Congresso Internacional RESAG 2015
REALIZADORES
RESAG
REMESP
RIMA
itp
SIBRATEC
Finep
CNPq
BRASIL

ANEXO C

ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA INTERFACES CIENTÍFICAS – SAÚDE E AMBIENTE – ISSN: 2316-3798

INTER FACES CIENTÍFICAS

SAÚDE E AMBIENTE

ISSN IMPRESSO 2316-3313

E - ISSN 2316-3798

DOI - 10.17564/2316-3798.2016v5n1p163-172

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA PARA USO EM CALDEIRAS INDUSTRIAIS

ANALYSIS OF RAIN EATER QUALITU FOR USE IN INDUSTRIAL BOILER

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA PARA USO EN LA CALDERA INDUSTRIAL

Luam de Oliveira Santos[1]

Williame Farias Ribeiro[2]

Silvanito Alves Barbosa[3]

RESUMO

A água pode ser considerada como um fator de limitação para o desenvolvimento industrial. No Brasil, por exemplo, teve-se a cultura do país no mundo com mais disponibilidade de água doce e por isso não aprendemos como gerir nossa água adequadamente. Esse mau gerenciamento pode comprometer a sua qualidade, gastando-se ainda mais com tratamentos, como floculação, abrandamento, desmineralização e filtragem ativa. A água da chuva pode ser considerada como uma ótima fonte alternativa, uma vem que sua captação e armazenamento proporciona água de boa qualidade para a indústria e ainda previne cheias. Um dos equipamentos que mais consomem água na indústria são as caldeiras, além disso, a qualidade da água para caldeira exige cuidados bastantes especiais que fazem com que a água da chuva seja uma boa solução. Os parâmetros que foram avaliados para a qualidade da água nesse trabalho foram: pH, dureza, dureza de cálcio e magnésio, alcalinidade, condutividade, sólidos totais dissolvidos e cloretos. Foram utilizados os métodos potenciométricos, volumetria de neutralização, titulação por complexação, e instrumentais. Os resultados obtidos de forma geral, mostram nas águas pluviais uma fonte alternativa de alta qualidade e que reduz os custos com tratamentos para água industrial. Mostram também que a água captada pelo método direto apre-

O artigo na íntegra pode ser visualizado através do link:
https://periodicos.set.edu.br/index.php/saude/issue/view/197/showToc