



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**



**COAGULAÇÃO QUÍMICA MELHORADA VISANDO O  
TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA**

**Uberlândia – MG**  
**2014**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**



## **COAGULAÇÃO QUÍMICA MELHORADA VISANDO O TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA**

**Autor: Bruna dos Santos Revolta**

**Orientador: Prof. Dr. Moilton Ribeiro Franco Júnior**

**Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química, área de concentração de Desenvolvimento de Processos Químicos.**

**Uberlândia – MG  
2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

R454c      Revolta, Bruna dos Santos, 1986-  
2014      Coagulação química melhorada visando o tratamento de água cinza  
[recurso eletrônico] / Bruna dos Santos Revolta. - 2014.

Orientador: Moilton Ribeiro Franco Júnior.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.1171>  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.

1. Engenharia química. 2. Águas residuais - Purificação. 3. Água -  
Purificação - Coagulação. I. Franco Júnior, Moilton Ribeiro (Orient.). II.  
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Química. III. Título.

---

CDU: 66.0

Maria Salete de Freitas Pinheiro - CRB6/1262

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA, EM 31/01/2014

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Moilton Ribeiro Franco Júnior  
Orientador (PPG-EQ/UFU)

---

Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni  
(PPG-EQ/UFU)

---

Prof. Dr. David Calhau Jorge  
(UFTM - ICTE)



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiro à Deus, pelo dom da vida e pela oportunidade de vivê-la com saúde e prosperidade.

À minha família, meu pai Antônio, minha mãe Celma e minha irmã Beatriz por todo o suporte necessário, por serem meu porto seguro e por acreditarem no meu potencial.

Ao meu marido, João Vitor, por me apoiar e me amar.

Aos meus amigos e familiares, por me passarem suavidade para viver.

A todos os professores e funcionários da PPG-EQ / UFU pelo conhecimento passado e pelo apoio. Em especial quero agradecer ao meu orientador Moilton Ribeiro Franco Júnior pela confiança, sabedoria e amizade.

As minhas amigas, Roseane e Natália pelas risadas.

Aos meus colegas de trabalho pelo suporte e tornarem está jornada mais leve, em especial a minha doce amiga Marina, Maria Aparecida e Deivid.

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE ABREVIACÃO .....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Objetivos Gerais.....	17
1.2 Objetivos Específicos.....	17
1.3 Conteúdo e Organização.....	18
<b>CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
2 Água Cinza.....	19
2.1 Reúso de Águas Cinzas.....	20
2.1.1 Tratamentos de Reúso de Águas Cinzas.....	20
2.1.1.1 Sistemas de Tratamento Simples.....	21
2.1.1.2 Sistemas de Tratamento Químico.....	22
2.1.1.3 Sistemas de Tratamento Físico.....	23
2.1.1.4 Sistemas de Tratamento Biológico.....	24
2.1.1.5 Sistemas de Tratamento Extenso.....	25
2.2 Normas Técnicas e Legislações para o Uso de Águas Cinzas Residenciais.....	27
2.2.1 Nacional.....	29
2.2.2 Internacional.....	30
2.3 Coagulação.....	31
2.4 Variáveis de resposta.....	33
<b>CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
3.1 Preparo das Amostras e Soluções .....	35
3.2 Sistemas Experimentais Empregados .....	37
3.3 Análises Quantitativas .....	39

3.3.1 Sólidos Totais .....	40
3.3.2 Cálculo de Remoção.....	41
<b>CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>42</b>
<b>CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>	<b>116</b>
5.1 Conclusões.....	116
5.2 Sugestões .....	118
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>118</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>125</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>131</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>135</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema de um gerenciamento de águas em uma edificação.....	20
Figura 2.2: Sistemas simples com desinfecção e (a) a sedimentação ou (b) gradeamento.....	21
Figura 2.3: Tecnologia química de separação por filtração ou flotação.....	22
Figura 2.4: Diagrama de fluxo do processo de eletrocoagulação em escala piloto.....	23
Figura 2.5: Tecnologias físicas.....	23
Figura 2.6: Equipamento de ultrafiltração.....	24
Figura 2.7: Tecnologias biológicas e fluxo lateral e MBR submerso.....	25
Figura 2.8: Tecnologia extensa.....	26
Figura 2.9: Wetland construído de fluxo vertical reciclado (RVFCW).....	26
Figura 2.10: Representação de mecanismos de coagulação.....	32
Figura 2.11: Esquema de funcionamento de um turbidímetro.....	33
Figura 2.12: Esquema de funcionamento de um pHmetro.....	34
Figura 2.13: Esquema de funcionamento de um condutivímetro.....	34
Figura 3.1: Esquema do Sistema Experimental.....	38
Figura 4.1. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	45
Figura 4.2. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	45
Figura 4,3. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	47
Figura 4.4. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	49
Figura 4,5. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	50

Figura 4.6. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	52
Figura 4.7. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	54
Figura 4.8. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	55
Figura 4.9. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	57
Figura 4.10. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	59
Figura 4.11. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	60
Figura 4.12. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	62
Figura 4.13. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	63
Figura 4.14. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Salicílico nas concentrações : (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	65
Figura 4.15. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	66
Figura 4.16. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	68

Figura 4.17. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	69
Figura 4.18. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	71
Figura 4.19. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	72
Figura 4.20. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	74
Figura 4.21. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio(0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	75
Figura 4.22. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	77
Figura 4.23. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	79
Figura 4.24. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	80
Figura 4.25. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	82
Figura 4.26. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	83
Figura 4.27. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	85

Figura 4.28. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	86
Figura 4.29. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	88
Figura 4.30. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	90
Figura 4.31. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações(a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	91
Figura 4.32. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	93
Figura 4.33. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	95
Figura 4.34. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	96
Figura 4.35. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	97
Figura 4.36. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	99
Figura 4.37. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	101
Figura 4.38. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	102

Figura 4.39. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	104
Figura 4.40. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	105
Figura 4.41. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	107
Figura 4.42. Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	108
Figura 4.43. Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	110
Figura 4.44. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	111
Figura 4.45. Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L <sup>-1</sup> ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L <sup>-1</sup> ; (b, b.1) 7,14 g.L <sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L <sup>-1</sup> .....	113



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Limites estabelecidos para reúso em descarga de vasos sanitários no Brasil.....	29
Tabela 2.2 - Legislações brasileiras que regulamentam a utilização de fontes alternativas de água.....	30
Tabela 2.3 - Limites estabelecidos para reúso em descarga de vasos sanitários.....	31
Tabela 3.1- Composição da água sintética.....	35
Tabela 3.2 – Produtos industriais utilizados na água cinza sintética.....	35
Tabela 3.3 – Especificação dos reagentes utilizados.....	36
Tabela 4.1 - Comparação de parâmetros do experimento com a literatura.....	114
Tabela 4.2- Comparação do parâmetro turbidez do experimento com a literatura.....	114

## LISTA DE ABREVIACÃO

Biorreatores de Membrana (MBR)

*Reed beds* (canaviais)

Carvão ativado granulado (GAC)

Filtros biológicos aerados (BAFs)

Sólidos Totais (ST)

Sólidos totais dissolvidos (STD)

NTU ou UNT (Unidade Nefelométrica).

Condutividade Elétrica  $\lambda$  3( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )

Carbono Orgânico Total (COT)

## RESUMO

O reúso de água cinza promove uma redução significativa no consumo de água potável e da produção de águas residuárias, como a água é utilizada novamente para fins não potáveis, antes de serem descartadas no sistema de esgoto. Porém, esta água deve ser tratada para que garanta segurança ao usuário e ao meio ambiente. O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema experimental para obtenção de uma coagulação melhorada, no qual se emprega o uso de um auxiliar de coagulação (ácido oxálico, ácido tricloroacético, ácido ascórbico, ácido salicílico e ácido cítrico), com um sistema de tratamento constituído de reatores em batelada, agitação magnética e decantação. Foram avaliados quinze sistemas, sistema de coagulação, coagulação com acréscimo do auxiliar de coagulação sem controle de pH e coagulação com acréscimo do auxiliar de coagulação com controle de pH, com três concentrações distintas dos auxiliares de coagulação. Os objetivos deste estudo incluem a análise dos parâmetros: pH, sólidos totais, condutividade elétrica e turbidez e análise de percentagem de remoção de impurezas baseados nos parâmetros anteriores. Para este estudo, a água cinza bruta tratada é sintética. O sistema de tratamento experimental mostrou potencial para recuperação de águas cinzas, devido a simplicidade do sistema, e também porque oferece remoção significativa dos valores de turbidez. Os resultados foram comparados com os dados obtidos na literatura e mostraram resultados satisfatórios no parâmetro turbidez. Em geral, o uso inovador dos auxiliares de coagulação mostrou ser eficaz para remoção das impurezas dos parâmetros analisados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água cinza, coagulação melhorada, reúso de água.

## ABSTRACT

The reuse of gray water promotes a significant reduction in potable water consumption and wastewater production, as the water is reused for non-potable purposes, before being discarded in the sewer system. However, this water must be treated ensuring user safety and the environment. The present work describes the development of an experimental system for obtaining an improved coagulation, which employs the use of a coagulation aid (oxalic acid, trichloroacetic acid, ascorbic acid, salicylic acid and citric acid) with a treatment system consisting of batch reactors, magnetic stirring and decanting. Fifteen systems, the coagulation system, addition of auxiliary coagulation without pH control and addition of auxiliary coagulation with pH control, with three different concentrations of clotting aids were evaluated. The objectives of this study include the analysis of pH, total solids, electrical conductivity and turbidity analysis and percentage of removal of impurities based on the above parameters. For this study, the crude ash treated water is synthetic. The experimental system showed potential for the treatment of gray water recovery, due to the simplicity of the system, and also because it offers significant removal of turbidity values. The results were compared with data from the literature and showed satisfactory results in turbidity parameter. In general, the innovative use of coagulation aids was found to be effective for the removal of impurities parameters.

**KEY WORDS:** Gray water, enhanced coagulation, water reuse.



## CAPITULO I

### INTRODUÇÃO

Ao longo dos séculos as atividades humanas vêm causando alterações no meio ambiente. As atividades antrópicas aliada ao crescimento da população humana aumenta as demandas do ecossistema e essas mudanças se dão por meio da agropecuária, desmatamento, urbanização e alteração do ciclo hidrológico. O movimento antrópico resulta na alteração da qualidade e quantidade dos recursos hídricos, tendo em vista que a água; e um recurso renovável, a parcela potável é limitada (BEGOSSO, 2009).

O Brasil detém uma das maiores reservas de água doce no mundo, mas é desafiado por uma grande incoerência, pois as cidades passam por crises de abastecimento, das quais não se salvam nem as situadas na região norte, que estão perto de 80% das descargas de água de rios no Brasil (REBOUÇAS, 2003) *apud* (BAZARELLA, 2005). Além de tudo, parte da água no Brasil já perdeu a característica de recurso natural renovável, em consequência de processos produção agrícola, urbanização e industrialização, que são fomentados, mas não são organizados em termos de preservação da água e do meio ambiente (BAZARELLA, 2005).

No caso do Brasil, que detém aproximadamente 13% da água doce superficial do planeta, cerca de 70% desse volume encontra-se na Bacia Amazônica, verdade que demonstra a não invariabilidade na distribuição desse recurso. Esse total é distribuído na região que apresenta a menor densidade populacional. Caso oposto à Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) que acolhe 10% da população brasileira e detém apenas 0,06% da água doce do Brasil (Bacia do Alto Tietê) (ANA, 2007) *apud* (MONTEIRO, 2009).

Além do problema de distribuição, fatores como consumo excessivo, desperdício e poluição contribuem de forma considerável para a intensificação da “escassez” desse recurso. A presença desses fatores evidência a ausência de uma gestão apropriada das águas, principalmente em regiões com elevada densidade demográfica (MONTEIRO, 2009).

As principais fontes de consumo de água são as residências. Conforme estudos feitos pelo WHO (World Health Organization) e pela UNICEF (United Nations Children’s Fund) (2001), o número de residentes em áreas urbanas sem acesso a fontes de água aumentou de 113 milhões em 1990 (5% da população urbana mundial) para 173 milhões em 2000 (6% da população urbana mundial) (BAZZARELLA, 2005). Em áreas densamente urbanizadas, o

consumo de água nas edificações pode chegar até 50% do consumo total de água potável. Uma redução significativa desse consumo (30% a 40%) pode alcançada nas residências através de técnicas racionalizadoras (ex: uso de dispositivos economizadores nos aparelhos) ou através da utilização de fontes alternativas de fornecimento (ex: água do mar dessalinizada, reúso de águas servidas, também conhecida como águas cinza e águas da chuva) para finalidades menos nobres (ex.: descarga de vasos sanitários, irrigação de jardins e lavagem de veículos). A água cinza é geralmente formada pelo uso de sabão ou de outros produtos para lavagem do corpo, limpezas de modo geral ou de roupas (JEFFERSON et al., 1999). A água cinza diversifica em qualidade de acordo com a localidade e nível de ocupação da residência, estilo de vida, classe social, cultura dos moradores e faixa etária (NSWHEALTH, 2000) e com a variedade de fonte de água cinza que está sendo utilizado (chuveiro, máquina de lavar, lavatórioetc.) (NOLDE, 1999). Outros fatores que, segundo ERIKSSON et al. (2002), também contribuem para as características da água cinza são: tipos de rede de distribuição e a qualidade da água de abastecimento (BAZZARELLA, 2006).

Águas cinzas são águas servidas que não possuem contribuição do vaso sanitário. Trata-se da água residuária proveniente do uso de lavatórios, chuveiros, tanques e máquinas de lavar roupas. Em função da presença de óleos e gorduras, alguns autores não consideram como água cinza o efluente oriundo de pias de cozinha (NOLDE, 1999) apud (BAZZARELLA, 2005).

Segundo Pertel (2009) o reúso parte do princípio que nem toda água consumida nos edifícios necessita de ser potável. Assim, ocorre a preservação de água de melhor qualidade para fins potáveis e uma redução da geração de esgotos sanitários.

O saneamento ecológico é uma nova concepção de saneamento que se enquadra dentro de um conceito de sustentabilidade necessário ao desenvolvimento dos grandes centros, sendo que a caracterização destes diferentes tipos de águas residuárias é de fundamental importância para o sucesso dos projetos de reúso (ESREY, 2001) apud (BAZZARELLA, 2005).

De acordo com Di Bernardo (2005) o tratamento de uma água cinza pode ser realizado seguindo a mesma sequência de processos empregada para a água de abastecimento. Deste modo, este trabalho teve por finalidade a realização de testes experimentais de coagulação melhorada da água cinza, que seria a coagulação química com o emprego dos sais tradicionais associados com um auxiliar de coagulação. Nesta pesquisa foram usados cinco diferentes ácidos como auxiliares de coagulação, sendo eles: ácido cítrico, ácido oxálico, ácido

tricloroacético, ácido salicílico e ácido ascórbico. A adição do auxiliar de coagulação ou da solução ácida era feita após a adição do sal (sulfato de ferro, cloreto férrico e sulfato de ferro e amônio) na forma de solução. Os experimentos de coagulação foram monitorados com o tempo, ou seja, amostragens da água cinza em processamento foi feita de forma a se verificar o perfil dos parâmetros de interesse com o decorrer do tempo. O efeito da concentração do auxiliar de coagulação, do pH e do tempo de decantação foram estudados e discutidos. Os parâmetros analisados foram: pH, condutividade, sólidos totais e turbidez.

## **1.1 Objetivos Gerais**

Os objetivos gerais tiveram por finalidade a realização experimentos para melhoria da coagulação da água cinza para reúso. Empregando sais tradicionais utilizados na coagulação associados com auxiliares de coagulação.

## **1.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos:

- Experimentos empregando a utilização de cinco diferentes ácidos como auxiliares de coagulação, sendo eles: ácido cítrico, ácido oxálico, ácido tricloroacético, ácido salicílico e ácido ascórbico, após a adição dos sais (sulfato de ferro, cloreto férrico e sulfato de ferro e amônio) na forma de solução.
- Monitoramento dos experimentos com o tempo para verificar o perfil dos parâmetros de interesse (concentração do auxiliar de coagulação, pH e tempo de decantação). Os parâmetros analisados foram: pH, condutividade, sólidos totais e turbidez.

## **1.3 Conteúdo e organização**

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, iniciando com a introdução, onde denota a importância de estudos relacionados ao reúso de águas cinzas e seus tipos de



tratamento e as normas técnicas e legislações para seu reúso, passando por materiais e metodologia utilizados no trabalho, resultados obtidos e discussão e conclusões e, sugestões para trabalhos futuros.

- O capítulo 1 expõe a importância do reúso de águas cinzas e os objetivos gerais e específicos do trabalho;
- O capítulo 2 apresenta uma introdução sobre água cinza, reúso de águas cinzas, tipos de tratamentos: simples, químico, físico, biológico e extenso (construção de *wetlands*), normas técnicas e legislações nacionais e internacionais para o uso de águas cinzas residenciais. Uma introdução sobre coagulação e seus principais mecanismos;
- O capítulo 3 expõe os materiais e a metodologia adotados para o sistema de tratamento de águas cinzas, preparo das amostras e soluções, equipamentos experimentais, parâmetros de análise, sistema de tratamento, análises laboratoriais e cálculo de remoção.
- O capítulo 4 relata os resultados obtidos com o objetivo de redução dos parâmetros analisados no tratamento de água residuária cinza e as discussões dos resultados obtidos.
- O capítulo 5 explicita as conclusões finais obtidas de um monitoramento de tratamento de água cinza e as sugestões para trabalhos futuros sobre o tema.

## CAPITULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2 Água Cinza

OTTERPOHL (2001) *apud* BAZARELLA (2005) discute sobre a importância da segregação do esgoto sanitário, base do saneamento ecológico. A segregação prevê a separação dos fluxos dos diferentes tipos de efluentes domésticos de acordo com suas características, objetivando reutilizá-los ou minimizá-los e ao mesmo tempo gerando uma redução do consumo de energia em atividades de saneamento. De acordo com esse princípio, o esgoto sanitário gerado nas residências pode ser separado da seguinte forma (BAZARELLA, 2005):

- Águas negras: efluente proveniente dos vasos sanitários, incluindo urina, fezes e principalmente papel higiênico;
- Água cinza: águas servidas (provenientes dos esgotos domésticos), excluindo o efluente dos vasos sanitários;
- Águas amarelas: representando somente urina;
- Águas marrons: representando somente as fezes.

A Figura 2.1 mostra um esquema de um gerenciamento de águas em uma edificação, desde o suprimento de água advinda da rede pública, passando pela coleta e reúso de água da chuva, águas cinzas, águas amarelas e águas negras (ou marrons).

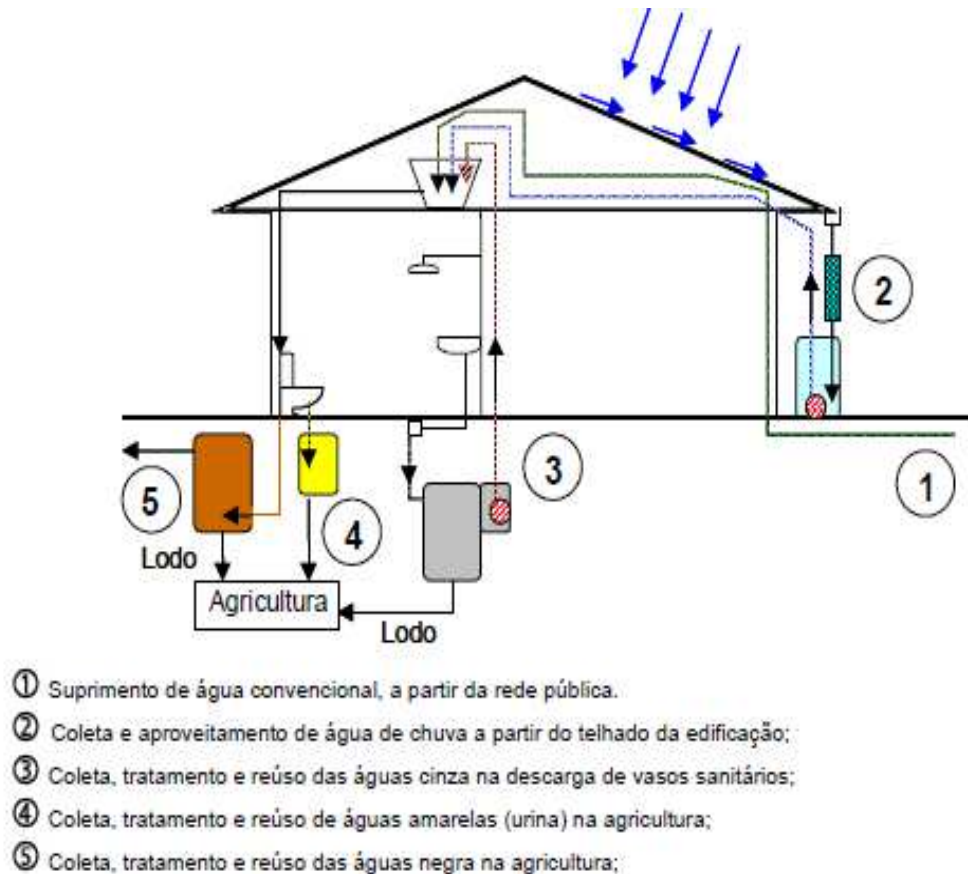


Figura 2.1 - Esquema de um gerenciamento de águas em uma edificação (BAZARELLA, 2005).

## 2.1 Reúso de Águas Cinzas

### 2.1.1 Tratamentos de Reúso de Águas Cinzas

Devido a grande demanda de água, principalmente populacional cada vez mais aumenta a busca por novas tecnologias de reúso de águas cinzas, já que a água cinza representa 70% dos efluentes sanitários domésticos (LEAL, 2007).

Pidou et al. (2007) realizou uma breve revisão das principais tecnologias existentes. As investigações sobre o tratamento e reutilização de águas cinzas são informados desde 1970. As primeiras tecnologias estudadas como opções de tratamento, principalmente físicos, tais como filtração grosseira ou membranas. Mais tarde, nos anos de 1980 e 1990, as tecnologias biológicas baseadas em rotação de contadores biológicos, bioreatores aerados e

filtro biológico aerado foram pesquisados. Durante o mesmo período, separadores físicos simples conectados a processos de desinfecção foram sendo desenvolvidos e instalados em residências individuais (PIDOU et al., 2007).

No final de 1990, relatórios também surgiram sobre o uso de tecnologias avançadas, tais como biorreatores de membrana (MBR) e tecnologias extensivas mais baratas como *reed beds* (canaviais) e lagoas. A propósito, apenas três tratamentos químicos: eletrocoagulação, fotocátalise e coagulação convencional tem sido relatados na literatura (PIDOU et al., 2007).

Os tratamentos de reúso foram divididos em cinco categorias (PIDOU et al., 2007):

- A) Simples (filtração e desinfecção grossa);
- B) Químico (fotocátalise, eletrocoagulação e coagulação);
- C) Físico (filtro de areia, adsorção e membrana);
- D) Biológico (filtro biológico aerado, rotação de biológicos e biorreator de membrana);
- E) Extenso (construção de *wetlands*).

### 2.1.1.1 Sistemas de Tratamento Simples

Tecnologias simples usadas para reúso de águas cinzas são geralmente sistemas em duas fases baseado em filtração grosseira ou sedimentação para remover os sólidos maiores seguido de desinfecção. Encontra-se na literatura o uso de sistemas ainda mais simples incluindo apenas um filtro grosso ou tanque de sedimentação no oeste da Austrália, onde regulamentos permitem a reutilização de tais águas cinzas tratadas simplesmente para irrigação subsuperficial (PIDOU et al., 2007). Demonstrado na Figura 2.2.

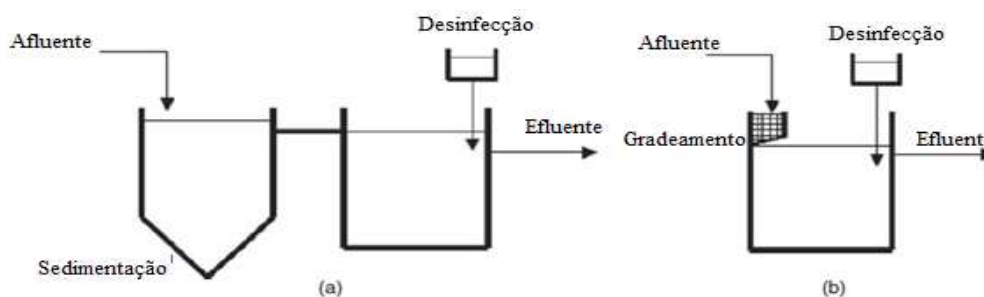


Figura 2.2 - Sistemas simples com desinfecção e (a) a sedimentação ou (b) gradeamento.

Fonte: Adaptado de Pidou et al. (2007).

March e Orozco (2004) realizaram um projeto de reutilização de águas cinzas para descarga de banheiros em um hotel na Espanha. Devido ao destino final da água cinza serem banheiros, a completa desinfecção da água reutilizada foi assumida como uma condição de trabalho, ou seja, uso de um agente desinfectante. O sistema foi baseado em sedimentação, filtração e tratamento de desinfecção.

### 2.1.1.2 Sistemas de Tratamento Químico

Segundo Pidou et al. (2007) apenas três sistemas utilizam tecnologia química para reúso de águas cinzas são relatados na literatura. Dois dos três regimes foram baseados na coagulação com alumínio. O primeiro usou uma combinação de coagulação, filtro de areia e carvão ativado granulado (GAC) para o tratamento de água cinza proveniente de lavanderia. A segunda combinado eletrocoagulação com desinfecção para o tratamento de água cinza “leve”. Estas duas tecnologias alcançam resultados em tempos de processo relativamente curtos. O terceiro regime de química relatado, com base em oxidação fotocatalítica com dióxido de titânio e UV, também alcançou bom resultados dentro de um tempo relativamente curto, como ilustrado na Figura 2.3 (PIDOU et al., 2007).

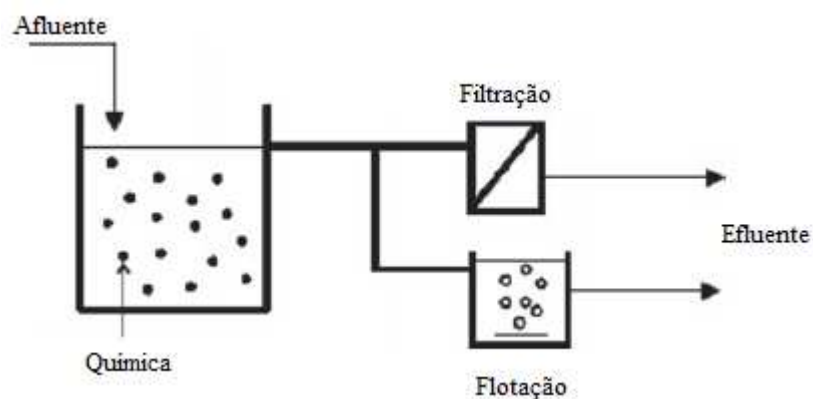


Figura 2.3 - Tecnologia química de separação por filtração ou flotação. Fonte: Adaptado de Pidou et al. (2007).

Na Figura 2.4, Lin et al. (2005) desenvolveu uma eletrocoagulação em escala piloto seguida de um processo de flotação e desinfecção.

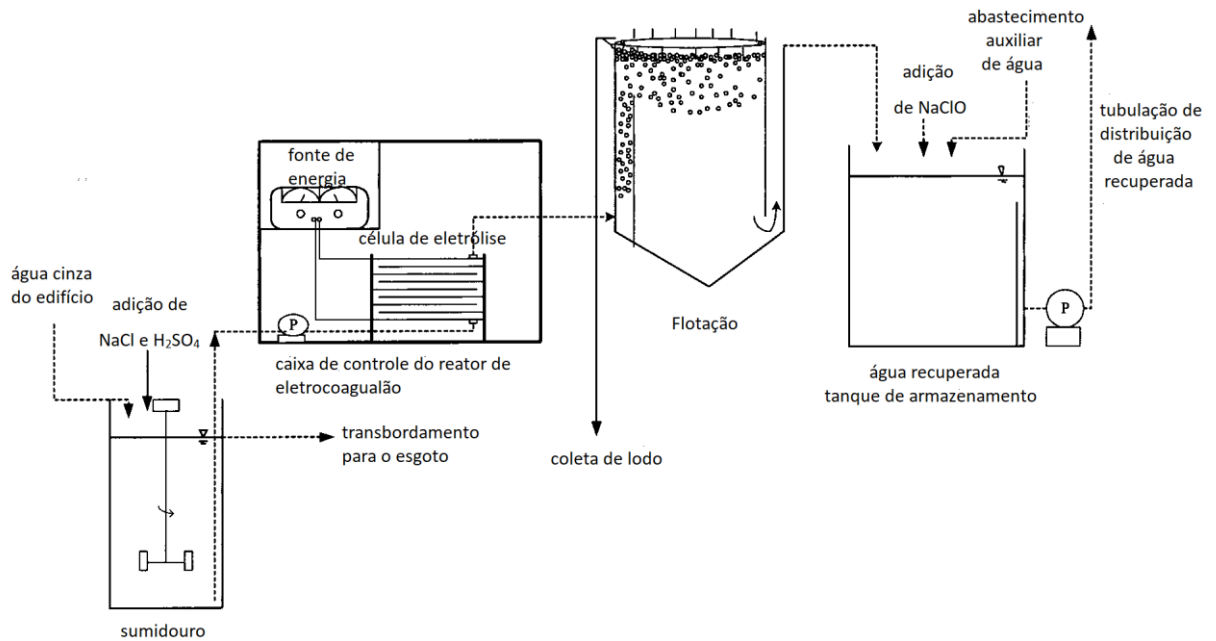


Figura 2.4 - Diagrama de fluxo do processo de eletrocoagulação em escala piloto. Fonte: Lin et al. (2005).

### 2.1.1.3 Sistemas de Tratamento Físico

A Figura 2.5 ilustra que os sistemas físicos podem ser divididos em duas subcategorias filtros de areia e membranas. Os filtros de areia são usados somente em combinação com desinfecção ou com carvão ativado e desinfecção (PIDOU et al., 2007).

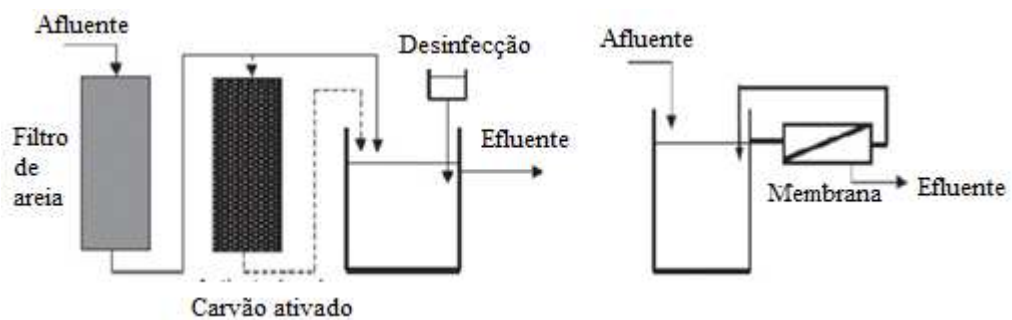


Figura 2.5 - Tecnologias físicas. Fonte: Adaptado de Pidou et al. (2007)

Na Figura 2.6 temos ilustrado o processo de ultrafiltração uma das etapas do processo de tratamento de águas residuárias, no qual consta as etapas precipitação/coagulação e floculação com adsorção em carbono e como método alternativo, filtrações por membranas, nomeadamente ultrafiltração e osmose reversa (SOSTAR-TURK et al., 2005).

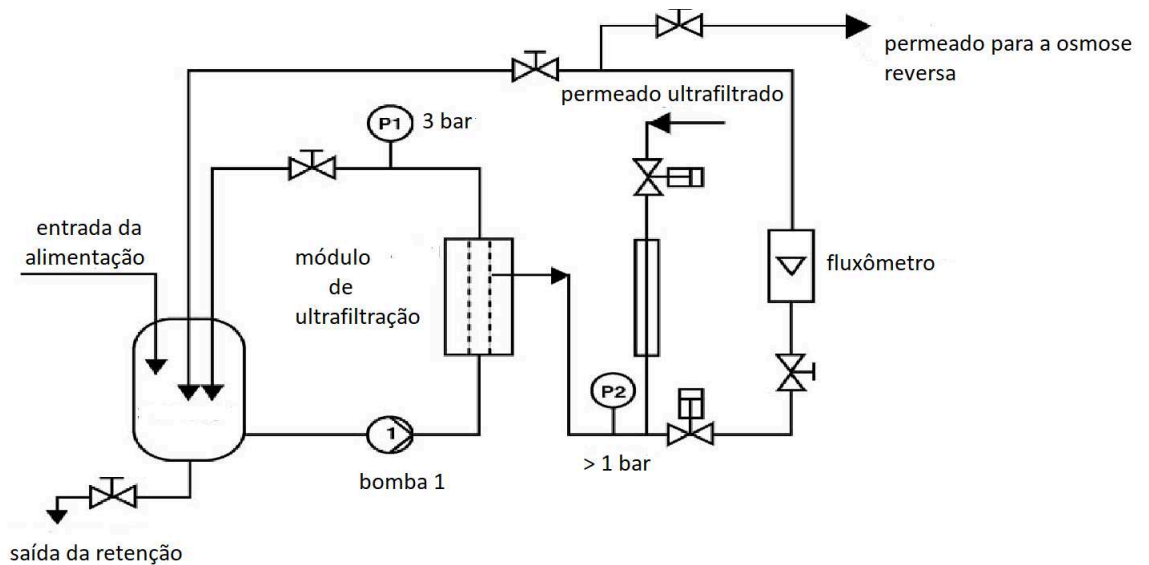


Figura 2.6 – Equipamento de ultrafiltração. Fonte: Adaptado de Sostar-Turk et al. (2005).

#### 2.1.1.4 Sistemas de Tratamento Biológico

Uma vasta gama de processos biológicos têm sido utilizados para reúso de água cinza. Processos tais como reatores de filme fixo, filtros anaeróbios, rotação de contadores biológicos, reatores em batelada, filtros biológicos aerados (BAFs) e biorreatores de membrana (MBR) são relatados (PIDOU et al., 2007).

Os sistemas biológicos são raramente usados individualmente; casos relatados são investigados em escala piloto. Na maioria dos casos na literatura, os processos biológicos são precedidos por pré-tratamento físico, como sedimentação, ou gradeamento e/ou seguido por desinfecção. São também combinados com filtros de areia, carvão ativado, construção de *wetlands* ou membranas em processos, tais como MBRs (biorreatores de membrana).

Sistemas biológicos, quando instalados em escala completa, são o tipo de tratamento mais comumente visto em grandes edifícios. Efetivamente, estes sistemas podem ser encontrados em residências, prédios e estádios, denotado na Figura 2.7 (PIDOU et al., 2007).

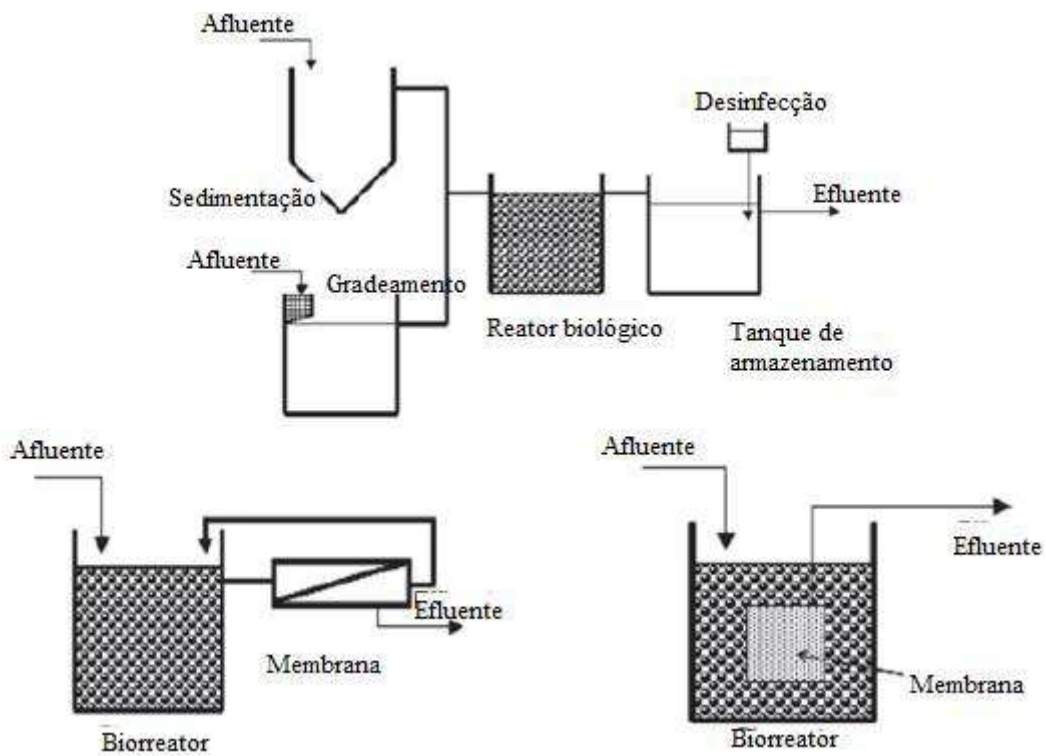


Figura 2.7 - Tecnologias biológicas e fluxo lateral e MBR submerso. Fonte: Adaptado de Pidou et al., 2007.

### 2.1.1.5 Sistemas de Tratamento Extenso

Tecnologias para o tratamento extensivos de águas cinzas, normalmente, são construídos wetlands como canaviais e lagoas. Estes são muitas vezes precedidos por sedimentação para remover as partículas maiores na água cinza e seguido de filtração com areia para remover quaisquer partículas ou suportes transportados pela água tratada, um modelo é apresentado na Figura 2.8 (PIDOU et al., 2007).



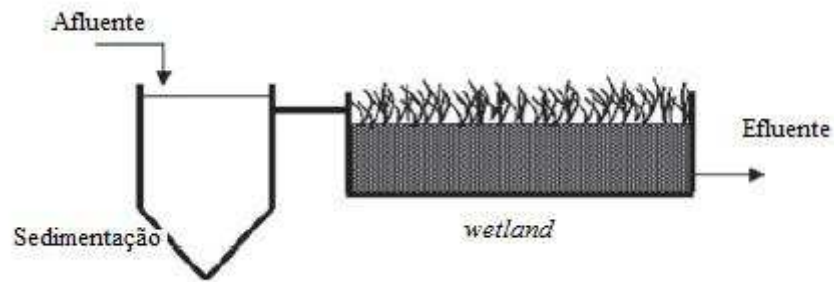


Figura 2.8 - Tecnologia extensa. Fonte: Adaptado de Pidou et al., 2007.

A proposta de Gross et al., 2007, apresentada na Figura 2.9 se trata de uma *wetland* de fluxo vertical reciclado e um filtro de gotejamento, onde a eficiência de remoção foi analisada. Constatou que a eficiente remoção de sólidos suspensos, a demanda biológica de oxigênio, e cerca de 80% da demanda química de oxigênio. No ponto A, temos várzea vertical construída com escoamento, no ponto B um reservatório, no ponto C uma bomba de reciclagem e no ponto D, temos camadas de meios filtrantes (turfa, tufo ou plástico de alta área superficial).



Figura 2.9 - Wetland construído de fluxo vertical reciclado (RVFCW).

Fonte: GROSS et al. (2007).

## 2.2 Normas Técnicas e Legislações para Uso de Águas Cinzas Residenciais

Segundo Rapoport (2004), às leis sobre o tema reúso de água, vigentes no Brasil, pode-se destacar a Lei 6938/81 que institui a Política Nacional do Meio Ambiente que menciona o incentivo ao estudo e pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais. A lei 9433/97 – Política Nacional de Recursos Hídricos – fixa os fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos capazes de indicar a orientação pública no processo de gerenciamento dos recursos hídricos e estabelece entre os princípios de ações governamentais o incentivo ao estudo e pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais, instituindo a cobrança pelo uso da mesma (outorga), bem como a racionalização do uso da água (RAPOPORT, 2004).

A Agenda 21, dedicou importância especial ao reúso de água, Capítulo 21, recomendando a implementação de políticas de gestão dirigidas para o uso e reciclagem de efluentes. Segundo Hespanhol (2002) embora não haja menção ao tema ‘reúso’, na Política Nacional de Recursos Hídricos, existe uma vontade política direcionada para esta questão. Segundo a Conferência Interparlamentar sobre o Desenvolvimento do Meio Ambiente, realizada em Brasília em dezembro de 1992, no parágrafo 64/B, recomenda esforços a nível nacional para “institucionalizar a reciclagem e reúso sempre que possível, promovendo o tratamento e a disposição de esgotos de modo a não poluir o meio ambiente” (RAPOPORT, 2004).

Segundo Rapoport (2004) o reúso de água pode ser classificado em reúso direto ou indireto. O reúso direto é aquele onde ocorre a ligação direta dos efluentes de uma estação de tratamento de esgotos a uma estação de tratamento de água e, em seguida, ao sistema de distribuição. Já o reúso indireto, é a diluição do esgoto após o tratamento em um corpo hídrico onde após algum tempo de detenção é efetuada a captação, seguida de tratamento adequado e posterior distribuição (RAPOPORT, 2004).

Lavrador Filho (1987) apud Rapoport (2004) sugere a seguinte terminologia para diversas formas de reúso:

- **Reúso indireto não planejado da água:** é aquele em que a água utilizada em alguma atividade humana é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada à jusante em sua forma diluída de maneira não intencional e não controlada.

- **Reúso indireto planejado da água:** ocorre quando os efluentes depois de tratados são descarregados de forma planejada para serem reutilizados a jusante.

- **Reúso direto planejado da água:** ocorre quando os efluentes após convenientemente tratados são encaminhados diretamente do seu ponto de descarga até o local do reúso, sofrendo em seu percurso os tratamentos necessários, mas não sendo descarregados no meio.

- **Reciclagem de água:** é o reúso interno da água antes da sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição para servir como fonte suplementar de abastecimento do uso original. É um caso particular de reúso direto.

Segundo Westerhoff (1984), o reúso de água é classificado em duas categorias: reúso potável e reúso não potável e essa classificação foi adotada pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental de São Paulo e divulgada nos Cadernos de Engenharia Sanitária e Ambiental (RAPOPORT, 2004).

Sendo (RAPOPORT, 2004):

- Reúso potável, pode ser classificado em:

- Direto
- Indireto

- Reúso não potável relacionada a:

- Para fins agrícolas
- Para fins industriais
- Para fins recreacionais
- Para fins domésticos
- Para manutenção de vazões de cursos d'água
- Para aquacultura
- Recarga de aquíferos subterrâneos

De acordo com Rapoport (2004), destacam-se alternativas que vem sendo propostas para racionalização do consumo de água domiciliar. São elas:

- Reúso de águas cinzas;
- Instalação de equipamentos hidráulicos sanitários de baixo consumo e alta eficiência;
- Identificação e eliminação de vazamentos e perdas na distribuição;
- Aperfeiçoamento dos procedimentos de medição e cobrança.

Devido os tratamentos para reúso de água para fins potáveis serem complexos e de custo elevado. Deste modo, o reúso para fins não potáveis deve ser sempre analisado preferencialmente (RAPOPORT, 2004).

### 2.2.1 Nacional

No Brasil, existem poucas legislações que incentivam a prática do reúso de água. As Tabelas 2.1 e 2.2 mostram alguns limites estabelecidos para reúso em descarga de vasos sanitários e algumas legislações que regulamentam o uso de fontes alternativas de água respectivamente (BAZARELLA, 2005).

Tabela 2.1- Limites estabelecidos para reúso em descarga de vasos sanitários no Brasil.

Parâmetros	Manual de " Conservação e reúso de água em edificações" Classe 1 (FIESP,2005)	NBR 13.969/97 item 5.6.4. Classe 3
pH	6,0 - 9,0	-
Cor (UH)	≤ 10	-
Turbidez (NTU)	≤ 2	<10
Óleos e Graxas (mg/L)	≤ 1	-
DBO (mg/L)	≤ 10	-
Coliformes fecal (NMP/100mL)	Não detectáveis	<500
Compostos Orgânicos Voláteis	Ausentes	-
Nitrato	≤ 10	-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	≤ 20	-
Nitrito (mg/L)	≤ 1	-
Fósforo Total (mg/L)	≤ 0,1	-
SST (mg/L)	≤ 5	-
SDT (mg/L)	≤ 500	-

Fonte: Bazzarella (2005).

Tabela 2.2 - Legislações brasileiras que regulamentam a utilização de fontes alternativas de água.

	Água de Chuva	Água cinza	Esgoto Sanitário
<b>Contenção</b>	Lei Nº 13.276/2002 - São Paulo/SP	-	-
<b>Uso predial</b>	Lei Nº 10.785/2003 - Curitiba/PR	Lei Nº 10.785/2003 - Curitiba/PR	NBR 13.969/1997
	Lei Nº 13.276/2002- São Paulo/SP Lei Nº 6.345/2003 - Maringá/PR	Lei Nº 6.345/2003 - Maringá/PR	
<b>Urbano</b>	-	-	Lei Nº 6.076/2003 - Maringá/PR Lei Nº 13.309/2002- São Paulo/SP NBR 13.969/1997

Fonte: Bazzarella (2005).

### 2.2.2 Internacional

Segundo Bazzarella (2005) diversos países têm desenvolvido diferentes alternativas para a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Entretanto, o fator econômico é que rege a escolha de uma estratégia, principalmente com relação aos custos do tratamento e de monitoramento. Grande parte dos países desenvolvidos estabeleceu diretrizes conservativas, medidas de conservação com baixo risco e utilizando tecnologias de alto custo, como os padrões californianos. Entretanto, isso nem sempre garante um baixo risco, em virtude da falta de experiência operacional. Muitos países em desenvolvimento adotam outra estratégia de controle dos riscos à saúde, através de tecnologias de baixo custo baseadas nas recomendações do *World Health Organization* (WHO).

De acordo com o EPA (2004), não existe nenhuma regulamentação federal nos Estados Unidos relacionada diretamente para prática do reúso. Porém, diversos estados americanos desenvolveram de maneira individual regulamentações ou guias para esse fim. Como por exemplo, a Califórnia, elaboraram amplos regulamentos e guias especificando requisitos de qualidade e/ou processos de tratamento, para as várias aplicações da água de reúso. O reúso em descarga de vasos sanitários está na classe de reúso irrestrito urbano (BAZARELLA, 2005).

Tabela 2.3 - Limites estabelecidos para reúso em descarga de vasos sanitários.

		PARÂMETROS							
	Tratamento	pH	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	Turbidez (NTU)	Coli. Total (ufc/100mL)	Coli. Fecal (ufc/100mL)	Cloro livre (Cl <sub>2</sub> )	Cloro residual (mg/L)
1	Arizona	Secundário, Filtração e Desinfecção	-	-	-	2 (méd)	ND (méd)	-	-
			-	-	-	5 (máx)	23 (máx)	-	-
	Califórnia	Oxidação, Coagulação, Filtração e Desinfecção	-	-	-	2 (méd)	2,2 (méd)	-	-
			-	-	-	5 (máx)	23 (máx)	-	-
	Flórida	Secundário, Filtração e Alto nível de Desinfecção	-	20	5	-	-	ND (75%)	-
			-	-	-	-	25 (máx)	-	-
	Hawaii	Oxidação, Filtração e Desinfecção	-	-	-	2 (máx)	-	2,2 (méd)	-
-			-	-	-	23 (máx)	-	-	
Texas	-	-	5	-	3	-	20 (méd)	-	
		-	-	-	-	75 (máx)	-	-	
Washington	Oxidação, Coagulação, Filtração e Desinfecção	-	30	30	2 (méd)	2,2 (méd)	-	-	
		-	-	-	5 (máx)	23 (máx)	-	-	
2	Austrália	Desinfecção	-	< 10 (90%) 20 (máx)	< 10 (90%) 20 (máx)	2 (méd) 5 (máx)	< 1	< 10 (90%) 20 (máx)	0,5-2,0 (90%) 2,0 (máx)
3	South Australia	Secundário, filtração terciária e desinfecção	-	< 20	< 10	2 (méd) 5 (máx)	< 10	-	-
4	Alemanha - guideline		6 - 9	20	30	1 - 2	500	100	-
	WHO		-	-	-	-	1000 (m) 200 (g)	-	-
5	Japão		6 - 9	10	-	5	10	10	-
6	Padrões Canadenses propostos		-	30	30	5	200	200	-
1 - EPA (2004)		5 - Citado em: LAZAROVA (2003)							
2 - NSW health, 2005		6 - CMHC (2004)							
3 - Citado em: KAYAALP (1996)		m - mandatory							
4 - Citado em: JEFFERSON (1999).		g - guideline							

Fonte: Bazzarella (2005).

## 2.3 Coagulação

Segundo Di Bernardo (2005), a água pode conter uma variedade de impurezas, destacando-se partículas coloidais, substâncias húmicas e organismos em geral. Tais impurezas apresentam carga superficial negativa, impedindo que as mesmas se aproximem uma das outras, ocasionando repulsão entre as partículas, permanecendo no meio líquido se

seus parâmetros não forem modificados. Para que as impurezas possam ser removidas, é preciso alterar algumas características da água e, conseqüentemente, das impurezas por meio dos processos de coagulação, flotação, sedimentação (ou flotação) e filtração. A coagulação, usualmente realizada por sais de ferro e alumínio, resulta de dois fenômenos: o primeiro, essencialmente químico, consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva e dependente da concentração do metal e pH final da mistura; o segundo, fundamentalmente físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato entre as impurezas presentes na água (DI BERNARDO, 2005).

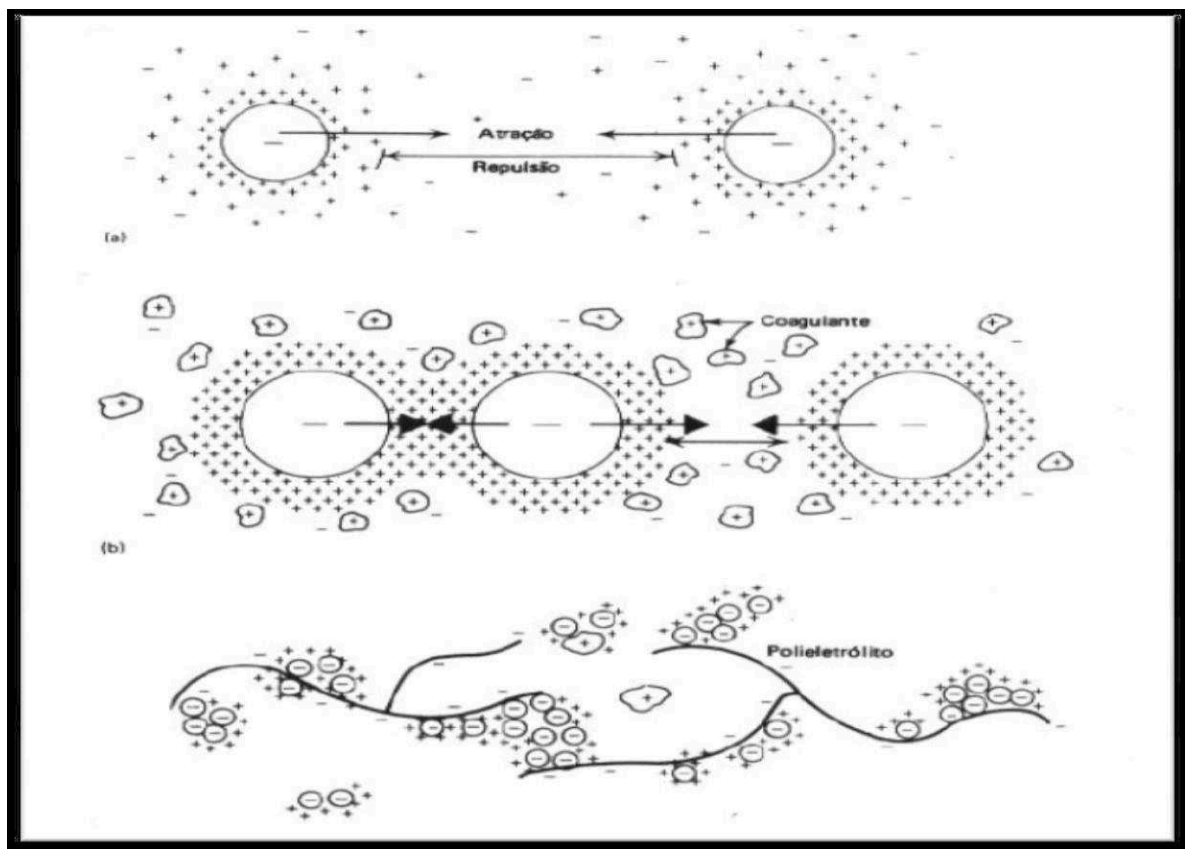


Figura 2.10 - Representação de mecanismos de coagulação (Di Bernardo, 2005).

O processo de coagulação é muito rápido com duração de cerca de 100 segundos, dependendo das características da amostra analisada, tais características conhecidas por meio de parâmetros como pH, alcalinidade, cor verdadeira, turbidez, temperatura, potencial zeta, condutividade elétrica, tamanho e distribuição de tamanhos de partículas coloidais etc. É necessário que haja agitação lenta da mistura, pra que ocorram choques entre as impurezas,

que se aglomeram em partículas maiores, formando os flocos (etapa de floculação), que posteriormente podem ser removidas por sedimentação, filtração rápida ou floculação (DI BERNARDO, 2005).

## 2.4 Variáveis de Resposta

### Turbidez

De acordo com Parron (2011) a turbidez é uma expressão da propriedade óptica que faz com que a luz seja espalhada e absorvida e não transmitida em linha reta através da amostra. A turbidez na água é causada por materiais em suspensão e coloidais, tais como: argila, silte, inorgânica finamente dividida, matéria orgânica e compostos orgânicos solúveis coloridos, plâncton e outros organismos microscópicos. A clareza de um corpo de água natural é um dos principais determinantes da sua condição e produtividade. A turbidez também é um parâmetro que indica a qualidade estética das águas para abastecimento público (CLESCERI et al,1999). Sendo expressa em NTU (Unidade Nefelométrica) (PARRON, 2011).

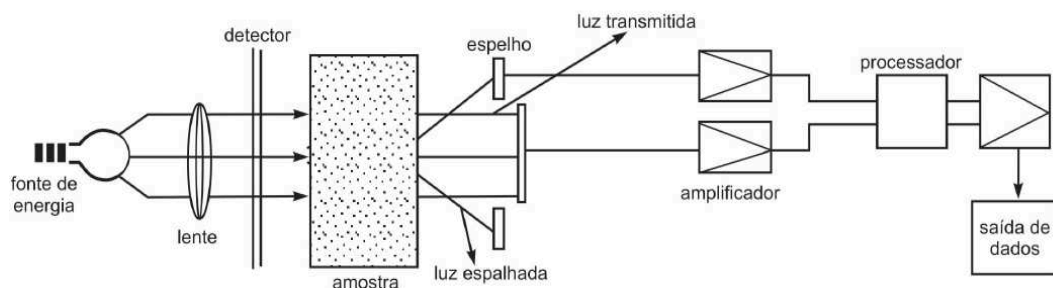


Figura 2.11- Esquema de funcionamento de um turbidímetro (PARRON, 2011).

### pH

O termo pH (potencial hidrogeniônico) é uma grandeza que varia de 0 a 14 e indica a intensidade de acidez ( $\text{pH} < 7,0$ ), neutralidade ( $\text{pH} = 7,0$ ) ou alcalinidade ( $\text{pH} > 7,0$ ) de uma solução aquosa. É uma das ferramentas mais importantes e frequentes utilizadas na análise de água. A influência direta do pH nos ecossistemas aquáticos é exercida por seus efeitos sobre a



fisiologia das diversas espécies e a influência indireta pode ocorrer por meio da precipitação de elementos químicos pesados (PIVELI; KATO, 2005 *apud* PARRON, 2011).

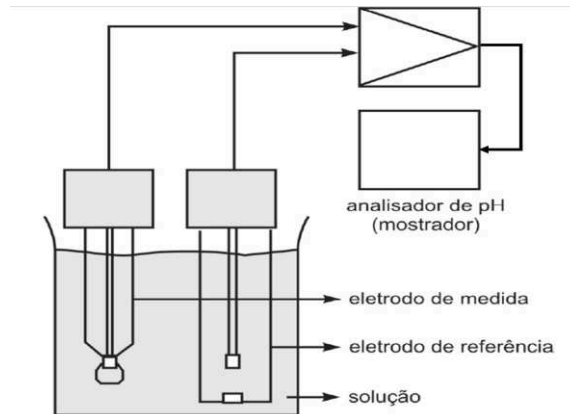


Figura 2.12 - Esquema de funcionamento de um pHmetro. Fonte: (Adaptado de PARRON, 2011).

### Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica se refere à capacidade que uma solução aquosa possui em conduzir corrente elétrica. Esta capacidade depende basicamente da presença de íons, da concentração total, mobilidade, valência, concentrações relativas e medidas de temperatura (CLESCERI et al,1999 *apud* PARRON, 2011).

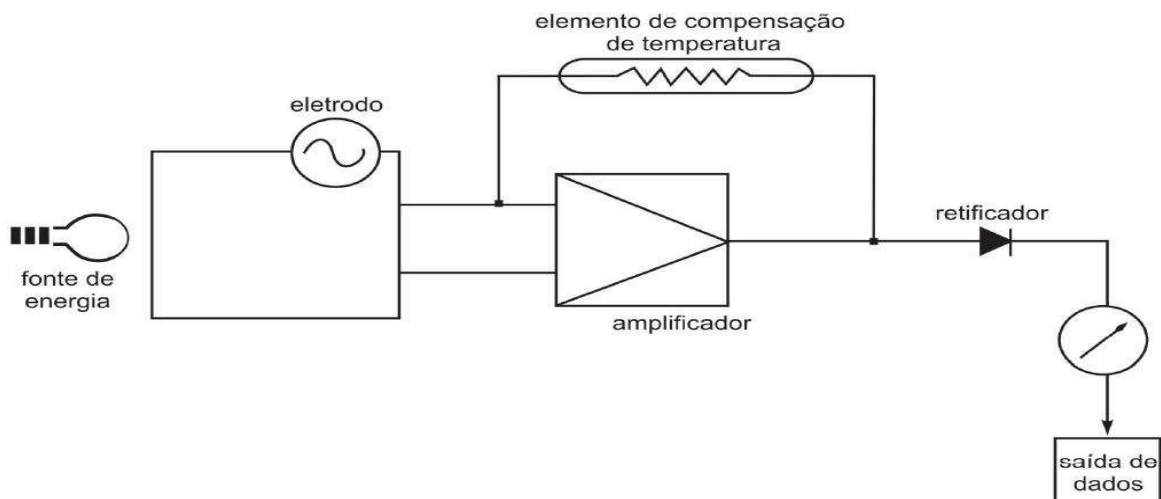


Figura 2.13 - Esquema de funcionamento de um condutímetro eletrolítico. Fonte: PARRON (2011).

## CAPITULO III

### MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, o sistema de tratamento de água cinza por coagulação melhorada, bem como, os equipamentos e materiais químicos que compõem esse processo, foram descritos com o intuito de esclarecer o procedimento de amostragem, a qual foi feita em tempos diversos ao longo de 24 horas do processo de coagulação-decantação. Também estão descritos neste capítulo, a água cinza sintética, os procedimentos e equipamentos adotados nas análises para obtenção dos parâmetros: pH, turbidez, condutividade elétrica e sólidos totais, a fim de obter resultados satisfatórios, todo o sistema de tratamento foi realizado no Laboratório de Engenharia Termo-ambiental – Unidade Segismundo Pereira.

#### 3.1 Preparo das Amostras e Soluções

A água cinza utilizada era um efluente sintético, com composição baseada no trabalho experimental realizado por Filho e Marques (2010). Estes autores realizaram simulações com diferentes composições de águas cinzas sintéticas e constataram melhores resultados de turbidez e pH, na seguinte composição para obtenção de água cinza sintética, como pode-se ver na tabela 3.1. Na tabela 3.2 os produtos industriais utilizados no preparo da água cinza para este trabalho.

Tabela 3.1: Composição da água sintética.

<b>Material</b>	<b>Composição (% em massa)</b>
Água de Abastecimento	99,3
Óleo de Soja	0,581
Sabão em Pó	0,068

Tabela 3.2: Produtos industriais utilizados na água cinza sintética.

<b>Compostos</b>	<b>Fabricante</b>
Óleo de Soja	Algar Agro
Sabão em Pó	Ypê

Os reagentes empregados para obtenção dos dados experimentais foram todos do tipo P.A. e utilizados conforme especificações determinadas pelos fabricantes, sem que houvesse uma purificação adicional. Eles encontram-se relacionados na tabela 3.3.

Tabela 3.3: Especificação dos reagentes utilizados.

<b>Compostos</b>	<b>Fórmula molecular</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Pureza (%)</b>
Ácido Ascórbico	$C_6H_8O_6$	Vetec	99
Ácido Salicílico	$C_6H_4(OH)COOH$	Isofar	99
Ácido Cítrico	$C_6H_8O_7 \cdot H_2O$	Vetec	99,5
Ácido Oxálico	$(COOH)_2 \cdot 2H_2O$	Isofar	99,5-102,5
Ácido Tricloroacético	$CCl_3COOH$	Dinâmica	99
Sulfato de Ferro (II) e Amônio	$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$	Vetec	98,5-101,5
Cloreto Férrico	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Vetec	97,0-102,0
Sulfato de Alumínio	$Al_2(SO_4)_3$	Reagen	99,9
Hidróxido de Sódio	NaOH	F. Maia Ind. e Com.	97
Ácido Sulfúrico	$H_2SO_4$	Vetec	95,0-99,0

As soluções dos agentes coagulantes: sulfato de alumínio, cloreto férrico e sulfato de ferro (II) e amônio, foram preparadas em três concentrações distintas:  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ,  $0,19 \text{ g.L}^{-1}$  e  $0,28 \text{ g.L}^{-1}$ , com o intuito de realizar testes preliminares, a fim de adquirir qual concentração seria utilizada para o tratamento de água cinza. Assim, obteve-se a concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ , na qual os resultados das análises dos parâmetros: turbidez, condutividade elétrica e sólidos totais, evidenciou os resultados menos satisfatórios em relação aos parâmetros analisados, irá ser adotado este devido a prospecção de melhores resultados com o uso de auxiliares de coagulação.

Dessa forma, foram adotados como auxiliares de coagulação, os ácidos: cítrico, oxálico, tricloroacético, salicílico e ascórbico. As concentrações destes ácidos  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ,  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$  foram utilizadas para os experimentos visando melhorar a qualidade final da água cinza tratada, o que não foi conseguido empregando-se apenas o coagulante.

Alguns experimentos foram executados empregando-se soluções corretivas visando o controle de pH do sistema em tratamento. Assim, foram preparadas solução de hidróxido de sódio e o ácido sulfúrico, nas concentrações de  $1,0 \text{ M}$ .

### 3.2 Sistemas Experimentais Empregados

Todas as análises foram executadas com base no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (CLESCERI, 1998).

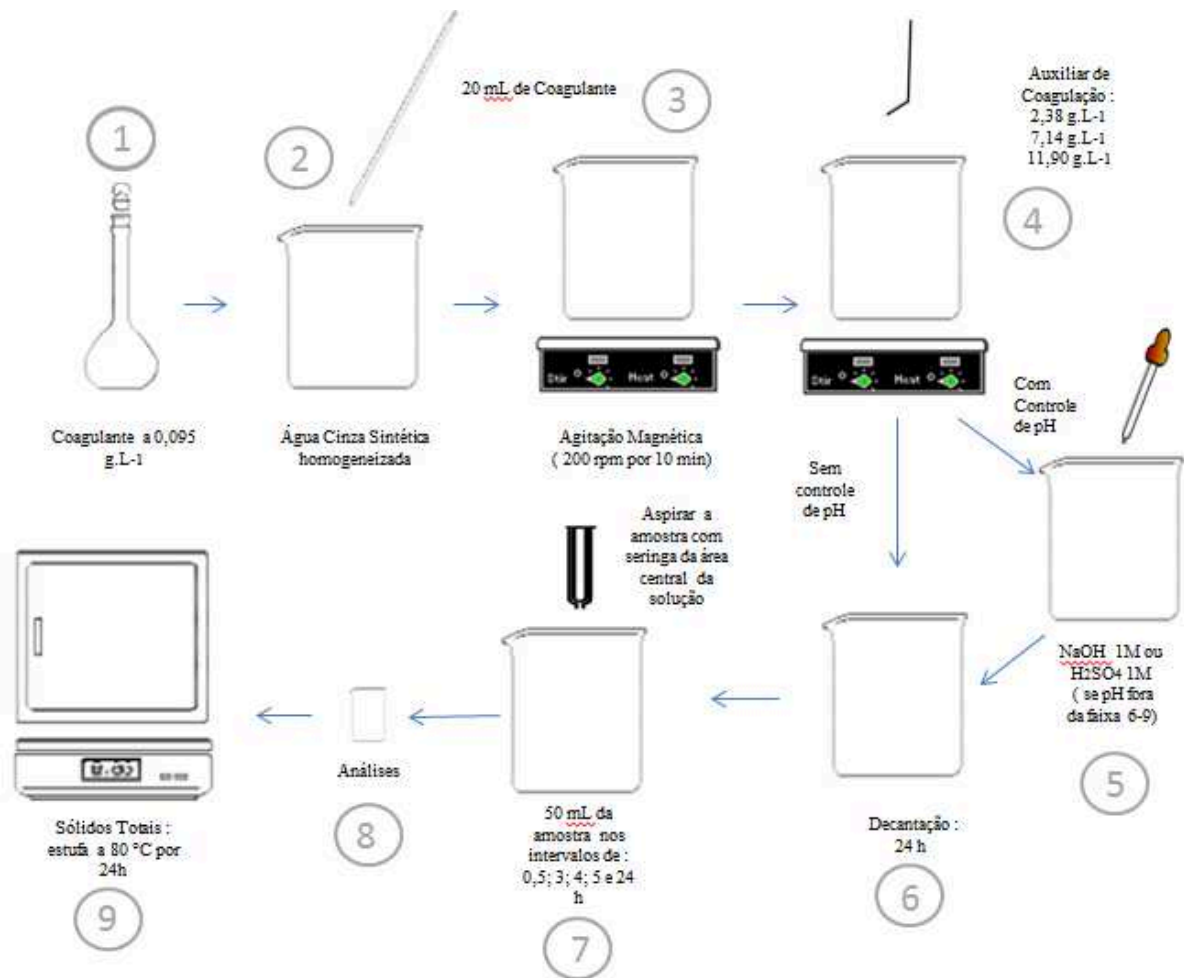
Os ensaios foram realizados utilizando-se reatores de vidro, volume de 600 mL, com processos em batelada, que permitiam a realização de três testes simultâneos. Dessa forma, cada reator foi alimentado pela solução de água cinza, o coagulante principal e, adicionado o auxiliar de coagulação na concentração avaliada.

A mistura contida no reator foi homogeneizada por agitador magnético, por um tempo de 20 minutos. As massas dos reagentes usados na preparação das soluções foram medidas utilizando-se uma balança analítica ( $10^{-4}$ g). A amostragem foi realizada utilizando-se seringa de vidro com capacidade de 20 mL, no centro do reator.

A determinação da turbidez da solução ocorreu com o uso do turbidímetro e a análise do pH se deu com o pHmetro digital. A temperatura foi medida com um termômetro com graduação.

A cada tempo, três amostras de 20 mL foram coletadas em béqueres e levadas à estufa para determinação do parâmetro sólidos totais (ST). A secagem da amostra era feita em estufa com metodologia baseada no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (CLESCERI, 1998).

Após a agitação, o sistema foi submetido à decantação por um tempo de 24 horas. Visando monitorar o sistema, amostras da água tratada (50 mL) foram coletadas, nos tempos de: 0,5, 3, 4, 5 e 24 horas, a fim de realizar as análises dos parâmetros já citados anteriormente. Esses tempos foram determinados por meio de testes preliminares realizados nos tempos de decantação: 0,5, 1, 2, 3, 4, 5 e 24 horas, eliminando-se as alíquotas dos intervalos de 1 e 2h por se manterem invariáveis em relação ao tempo de decantação de 0,5h. O mesmo procedimento foi seguido para cada auxiliar de coagulação empregado.



1. Adição de coagulante na concentração de 0,095 g.L<sup>-1</sup>;
2. Adição de 20 mL de coagulante à água cinza homogeneizada;
3. Agitação magnética, a 200 rpm por 10 minutos, para que haja coagulação;
4. Inserção do auxiliar de coagulação nas concentrações: 2,38 g.L<sup>-1</sup>, 7,14 g.L<sup>-1</sup> e 11,90 g.L<sup>-1</sup>, seguido por agitação a 20 rpm por 20 minutos;
5. Controle de pH com a base e ácido, respectivamente, NaOH e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 1M;
6. Decantação por 24 h;
7. Coleta da amostra com seringa, nos intervalos: 0,5, 3, 4, 5 e 24 h;
8. Análises dos parâmetros: turbidez, pH e condutividade elétrica;
9. Análise do parâmetro sólidos totais: amostra com 50 mL pesada e posteriormente levada à estufa por 24 h, 80°C, pesada novamente após secagem para o cálculo de sólidos totais.

Figura 3.1: Esquema do Sistema Experimental.

### 3.3 Análises Quantitativas

#### **Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica - CE depende da quantidade de sais dissolvidos na água. A medição da CE permite estimar de modo rápido a quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD) presentes na água. Valores elevados de STD aumentam a solubilidade dos precipitados de alumínio e de ferro, o que influi na cinética da coagulação. Também é afetada a formação e precipitação de carbonato de cálcio, favorecendo a corrosão (OLIVEIRA, 2004).

#### **pH**

O potencial hidrogeniônico representa a concentração de íons hidrogênio  $H^+$  (em escala antilogarítmica), dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. A faixa de pH é de 0 a 14 (OLIVEIRA, 2004).

Não tem implicação em termos de saúde pública (a menos que os valores sejam extremamente baixos ou elevados, a ponto de causar irritação na pele ou nos olhos) é importante em diversas etapas do tratamento da água (coagulação, desinfecção, controle da corrosividade, remoção da dureza) (OLIVEIRA, 2004).

Um pH baixo representa potencial de corrosividade e agressividade nas tubulações e peças das águas de abastecimento. Enquanto um pH elevado representa a possibilidade de incrustações nas tubulações e peças das águas de abastecimento. Valores de pH afastados da neutralidade podem afetar a vida aquática (como os peixes, por exemplo) e os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico dos esgotos (OLIVEIRA, 2004).

#### **Turbidez**

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem de luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. Não traz inconvenientes sanitários diretos. Porém, é esteticamente desagradável na água potável, e os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos (diminuindo a eficiência de desinfecção) (OLIVEIRA, 2004).

Em termos de tratamento e abastecimento público de água (OLIVEIRA, 2004):

- Numa água com turbidez igual a 10 NTU, ligeira nebulosidade pode ser notada; com turbidez igual a 500 NTU, a água é praticamente opaca;
- Valores de turbidez da água bruta inferiores a cerca de 20 NTU podem ser direcionadas diretamente para a filtração lenta, dispersando a coagulação química; valores superiores a 50 NTU requerem uma etapa antes da filtração, que pode ser a coagulação química ou um pré-filtro grosseiro.

### **Sólidos totais**

Os sólidos correspondem a toda matéria que permanece na água como resíduo após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra a temperatura pré-estabelecida durante um período fixado. As operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis). Os métodos empregados para a determinação de sólidos são gravimétricos (utilizando-se balança analítica ou de precisão), com exceção dos sólidos sedimentáveis, cujo método mais comum é o volumétrico (uso de cone de Imhoff) (OLIVEIRA, 2004).

Sólidos totais são o resíduo que resta na cápsula após a evaporação em banho-maria de uma porção de amostra e sua posterior secagem em estufa a 103-105°C até peso constante. A medição dos sólidos totais é importante para definir as condições ambientais baseadas nas premissas de que estes sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática em geral. Podendo danificar os leitos de desova de peixes, reterem bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, resultando em decomposição anaeróbia. Altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, também estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas, prejudicando o abastecimento público de água (OLIVEIRA, 2004).

#### **3.3.1 Sólidos Totais**

O cálculo de sólidos totais (ST) é realizado com os dados de peso da amostra seca e do recipiente. Foi calculado conforme a equação 3.2. (CLESCERI, 1998).

$$sólidos\ totais = \frac{(A - B) \times 1000}{volume\ da\ amostra}$$

em que, A é o peso da amostra seca e B o peso do recipiente, ambos em mg. O volume da amostra é dado mL.

### 3.3.2 Cálculo de Remoção

O cálculo de percentagem de remoção de impurezas (R) da água cinza foi feito tomando por base os seguintes parâmetros: sólidos totais, condutividade elétrica e turbidez. Foram realizados conforme as equações 3.3, 3.4 e 3.5.

Para sólidos totais têm-se (CLESCERI, 1998):

$$R_{ST} = \left( 1 - \frac{(ST)_f}{(ST)_i} \right) \cdot 100 \quad 3.3$$

em que,  $(ST)_f$  é a concentração de sólidos totais em um tempo de decantação e  $(ST)_i$  da água cinza a ser tratada.

Similarmente para os parâmetros condutividade e turbidez, seguem as equações 3.4 e 3.5 (CLESCERI, 1998).

$$R_{\lambda} = \left( 1 - \frac{(\lambda)_f}{(\lambda)_i} \right) \cdot 100 \quad 3.4$$

$$R_{NTU} = \left( 1 - \frac{(NTU)_f}{(NTU)_i} \right) \cdot 100 \quad 3.5$$



## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

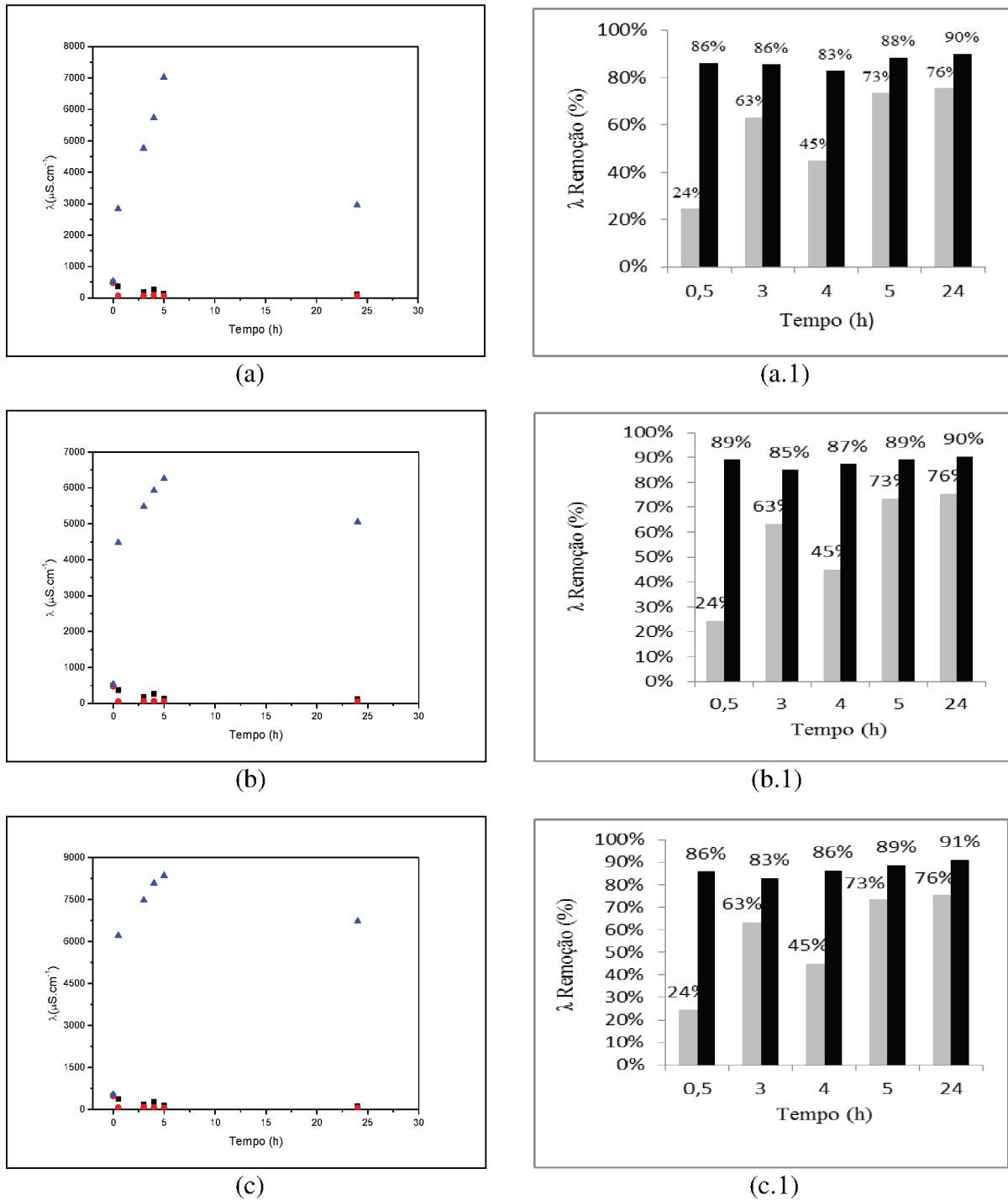
Neste capítulo serão apresentados os resultados para todos os sistemas já mencionados no capítulo anterior nas condições de temperatura ambiente e nas composições citadas anteriormente. Serão apresentados os resultados do monitoramento do sistema para três tipos experimentos, distintos: coagulação tradicional, coagulação tradicional empregando um ácido sem controle de pH e coagulação tradicional empregando um ácido com controle de pH.

Os parâmetros condutividade, turbidez e sólidos totais das amostras estão quantificados em função do decorrer do tempo de 24 horas nas Figuras de 4.1 – 4.45. Além disso, os valores de remoção de impurezas e sólidos totais, baseados nestes três parâmetros, foram calculados empregando-se as equações de 3.2-3.5 e estão exibidos nas figuras que se seguem. Cabe ressaltar que para os sistemas de coagulação tradicional empregando um ácido sem controle de pH, houve variação do pH de 1,0 – 4,3, por outro lado, no caso dos sistemas com controle de pH a grandeza variou de 6,0 – 9,0 na maioria dos tempos de decantação.

#### **Ácido Cítrico**

##### **Ácido Cítrico – Sulfato de Alumínio**

Os gráficos de dispersão da Figura 4.1 representam os valores de condutividade (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de alumínio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



**Figura 4.1.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

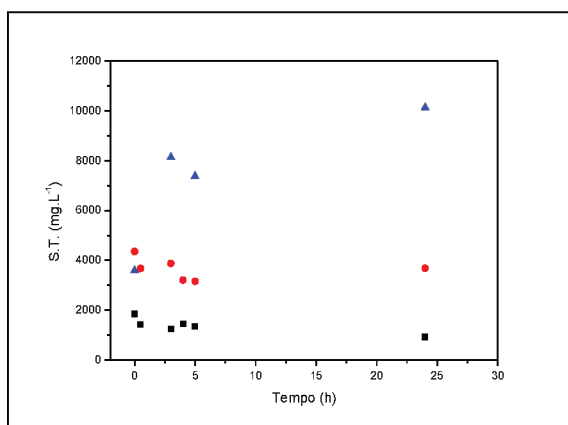
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

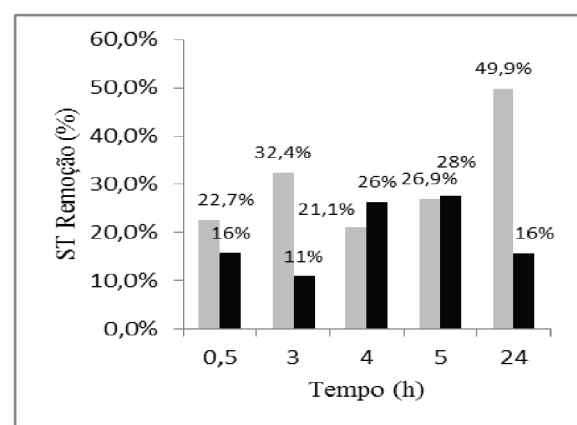
Na Figura 4.1, estão exibidos em gráficos de dispersão e de coluna (% remoção), os resultados de condutividade demonstraram que ocorreu percentagem de remoção de impurezas baseado na medida de turbidez com coagulação tradicional e coagulação tradicional empregando o ácido cítrico sem controle de pH e, que os mesmos apresentaram resultados em torno de 87% de remoção com a coagulação com sulfato de alumínio empregando o ácido cítrico sem controle de pH, independente da concentração de ácido cítrico utilizada e do tempo de decantação. A coagulação com sulfato de alumínio empregando o ácido cítrico com controle de pH mostrou que além do valor de condutividade ser maior do que o valor da água cinza bruta, com o aumento da concentração de ácido cítrico essa diferença só aumenta.

### Ácido Cítrico – Sulfato de Alumínio

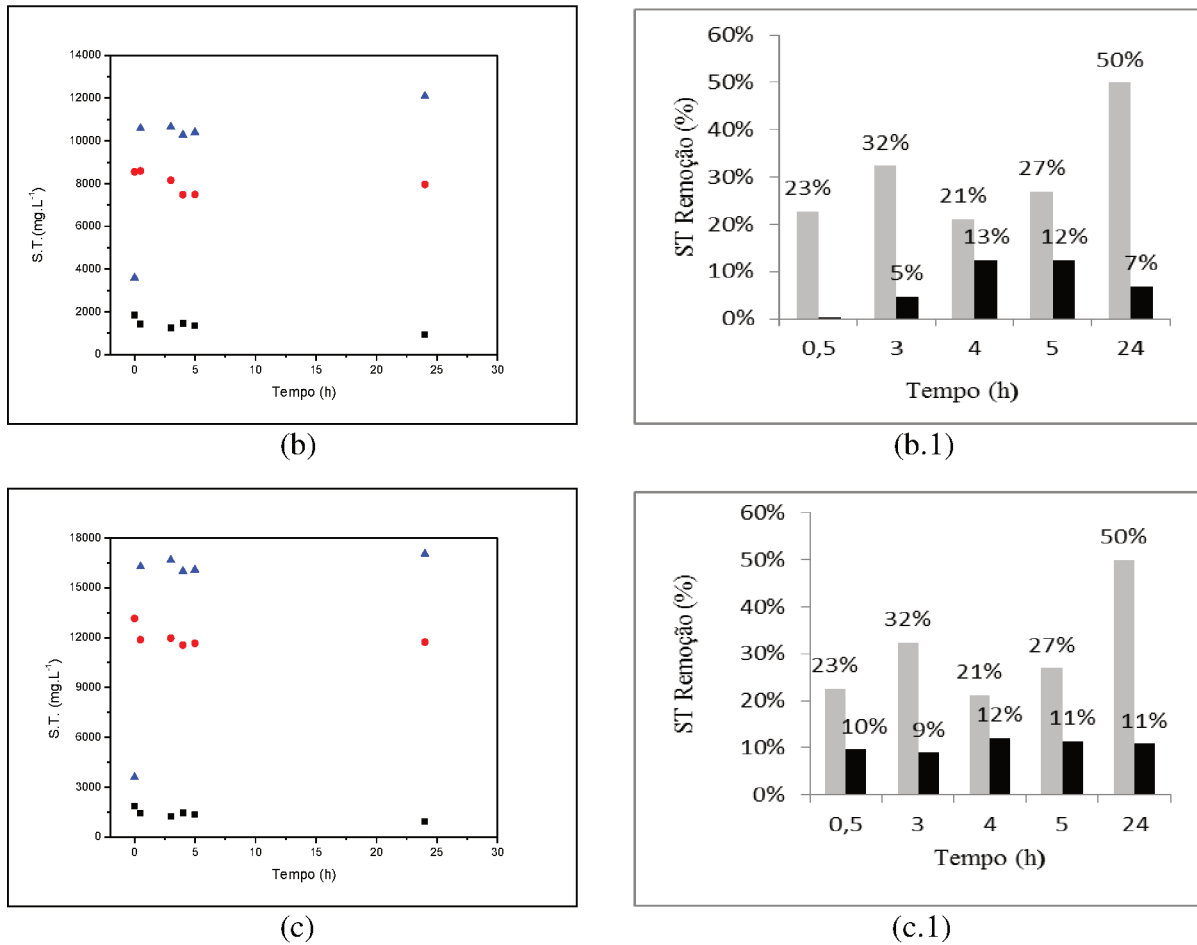
Os gráficos de dispersão da figura 4.2 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de alumínio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



(a)



(a.1)

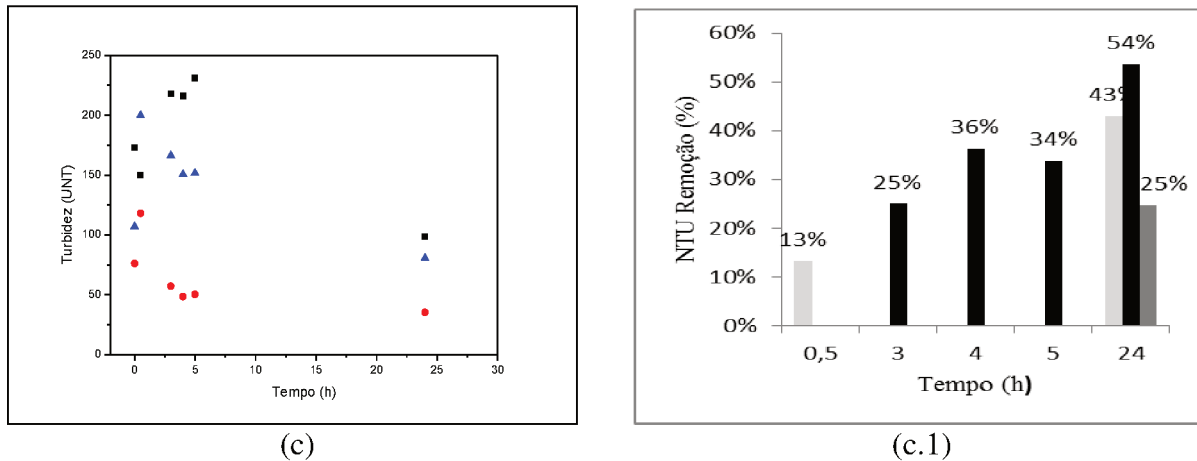


**Figura 4.2.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).  
 (▒ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

Na Figura 4.2, observa-se que ocorreu percentagem de remoção de impurezas baseado na medida de sólidos totais com coagulação com sulfato de alumínio e coagulação com sulfato de alumínio empregando o ácido cítrico sem controle de pH e, que os resultados mais satisfatórios ocorreram com o uso do coagulante sulfato de alumínio com o máximo de remoção de 50 % nos tempos de 24 horas, o tempo de decantação. Os valores de remoção com coagulação com sulfato de alumínio empregando o ácido cítrico sem controle de pH apresentaram valor máximo de 28%. As diferentes concentrações do ácido cítrico influem na





**Figura 4.3.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

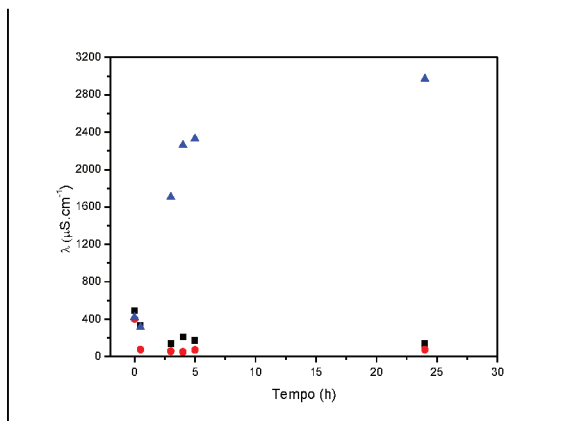
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).  
 (■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

A Figura 4.3, ilustra que ocorreu remoção de impurezas fundada na medida de turbidez nos três experimentos: coagulação com sulfato de alumínio, coagulação com sulfato de alumínio empregando o ácido cítrico com controle de pH e coagulação com sulfato de alumínio empregando o ácido cítrico sem controle de pH, mas que na concentração do ácido cítrico de  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$  não houve remoção com a coagulação com sulfato de alumínio empregando o ácido cítrico sem controle de pH. Nas concentrações de ácido cítrico de  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$  e  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ , remoções iguais de coagulação com sulfato de alumínio empregando o ácido cítrico com controle de pH, onde o maior valor obtido foi de 77% em 24 horas.

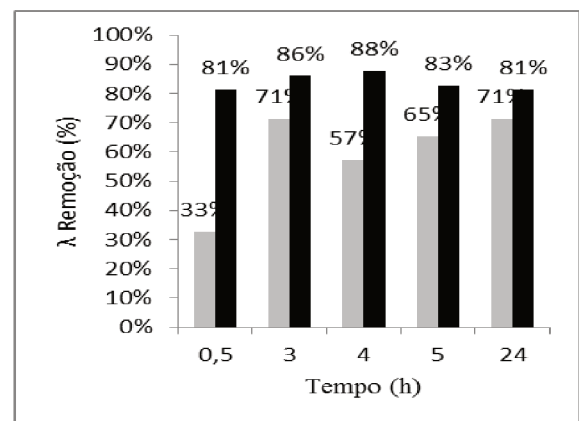
O tempo de decantação foi uma condição determinante para os três experimentos. A concentração do ácido cítrico de  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$  mostrou que ocorreu maior remoção de impurezas baseado na medida de turbidez com coagulação com sulfato de alumínio empregando o ácido cítrico sem controle de pH em 54%. Assim, o experimento com maior remoção foi o com coagulação com sulfato de alumínio empregando o ácido cítrico com controle de pH para as concentrações de  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$  e  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ .

## Ácido Cítrico – Cloreto Férrico

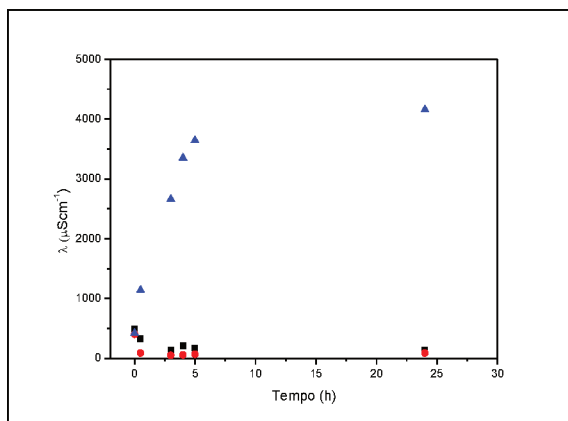
Os gráficos de dispersão da Figura 4.4 representam os valores de condutividade (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



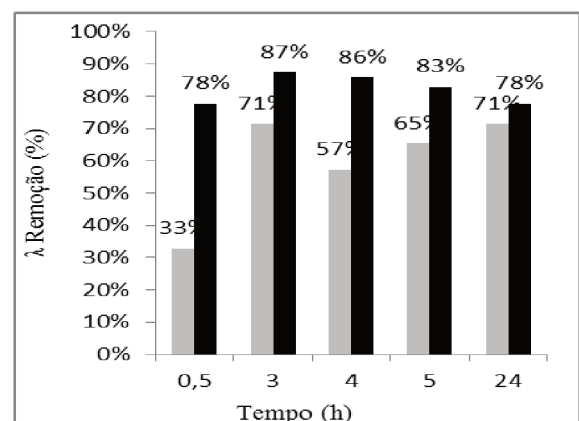
(a)



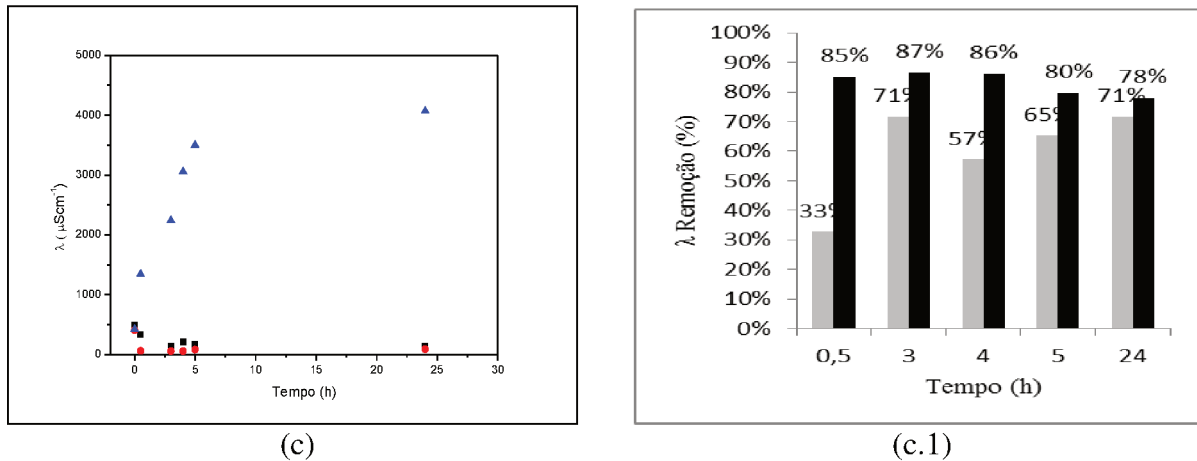
(a.1)



(b)



(b.1)



**Figura 4.4.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

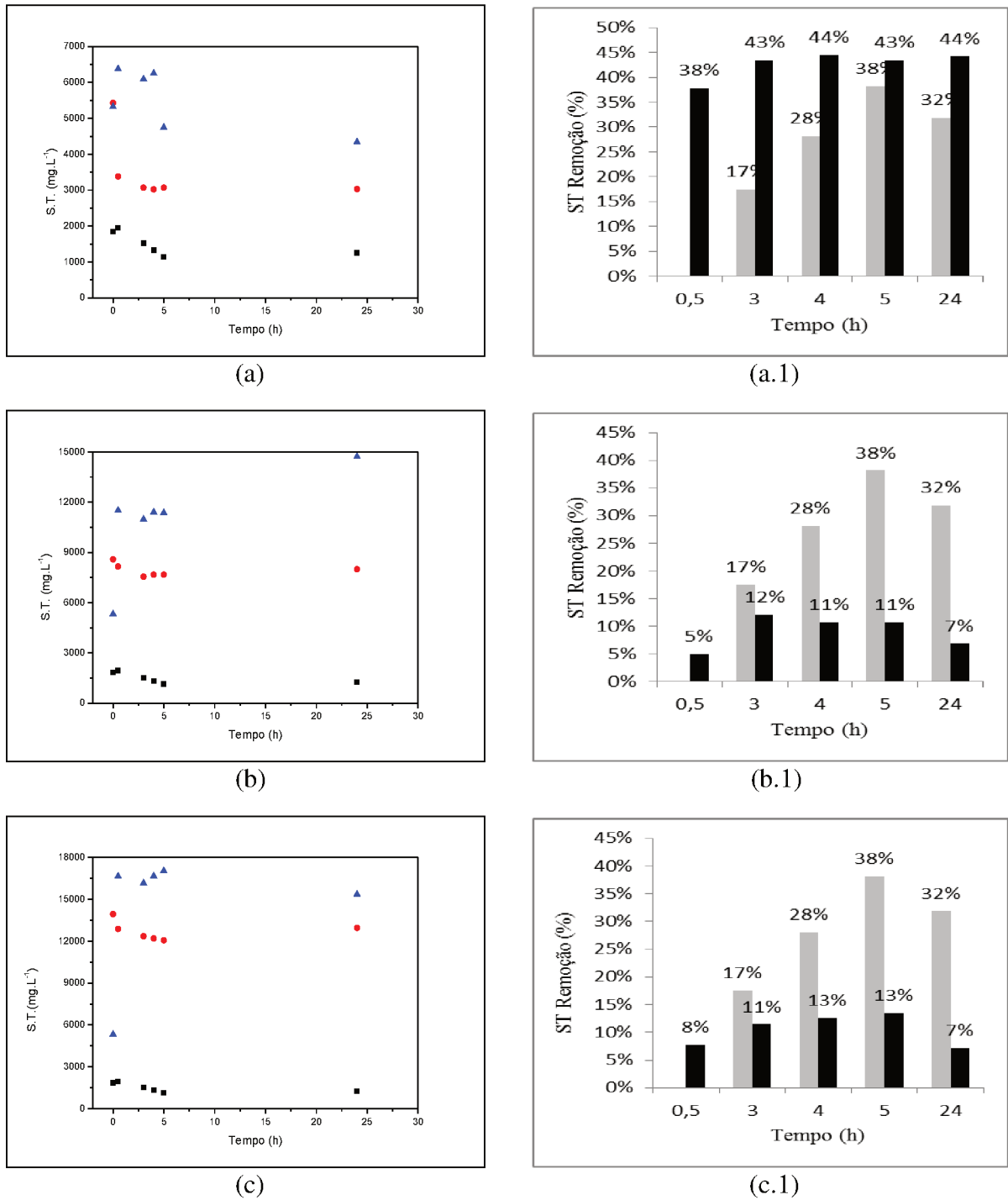
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).  
 (■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

Na Figura 4.4, elucida que ocorreu remoção de impurezas baseada na medida de condutividade dos experimentos com coagulação com cloreto férrico e maior remoção com coagulação com sulfato de alumínio empregando o ácido cítrico sem controle de pH, em torno de 84%. As três concentrações de ácido cítrico apresentam resultados similares, quanto à remoção de impurezas. O tempo de decantação foi um fator considerável para a remoção com coagulação com cloreto férrico.

### Ácido Cítrico – Cloreto Férrico

Os gráficos de dispersão da Figura 4.5 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .





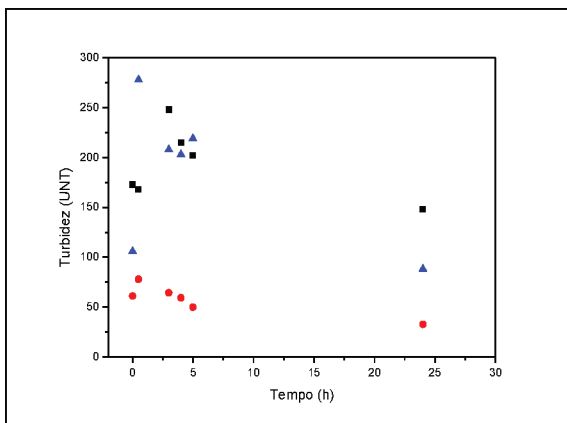
**Figura 4.5.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L<sup>-1</sup>; (b, b.1) 7,14 g.L<sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L<sup>-1</sup>

(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).  
 (■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

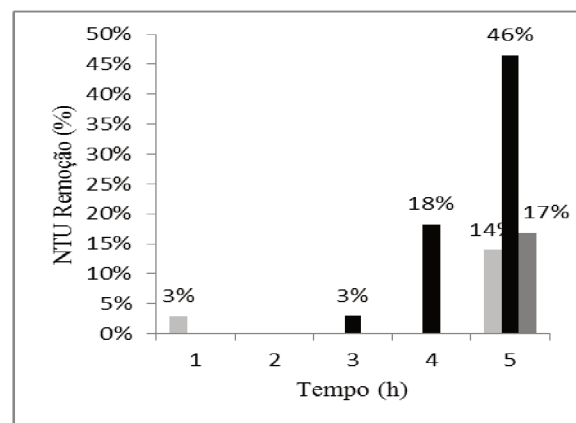
A Figura 4.5, exibi remoção de impurezas baseada na medida de sólidos totais nos experimentos coagulação com cloreto férrico, coagulação com cloreto férrico empregando o ácido cítrico sem controle de pH, mas a maior remoção de impurezas ocorreu com coagulação com cloreto férrico empregando o ácido cítrico sem controle de pH, aproximadamente 42%, o tempo de decantação neste caso não foi tão relevante para o resultado de remoção. Para as concentrações de ácido cítrico de 7,14 g.L<sup>-1</sup> e 11,90 g.L<sup>-1</sup> o tratamento mais satisfatório foi o de coagulação com cloreto férrico, apresentando resultados semelhantes, já neste exemplo o tempo de decantação influi na percentagem de remoção.

### Ácido Cítrico – Cloreto Férrico

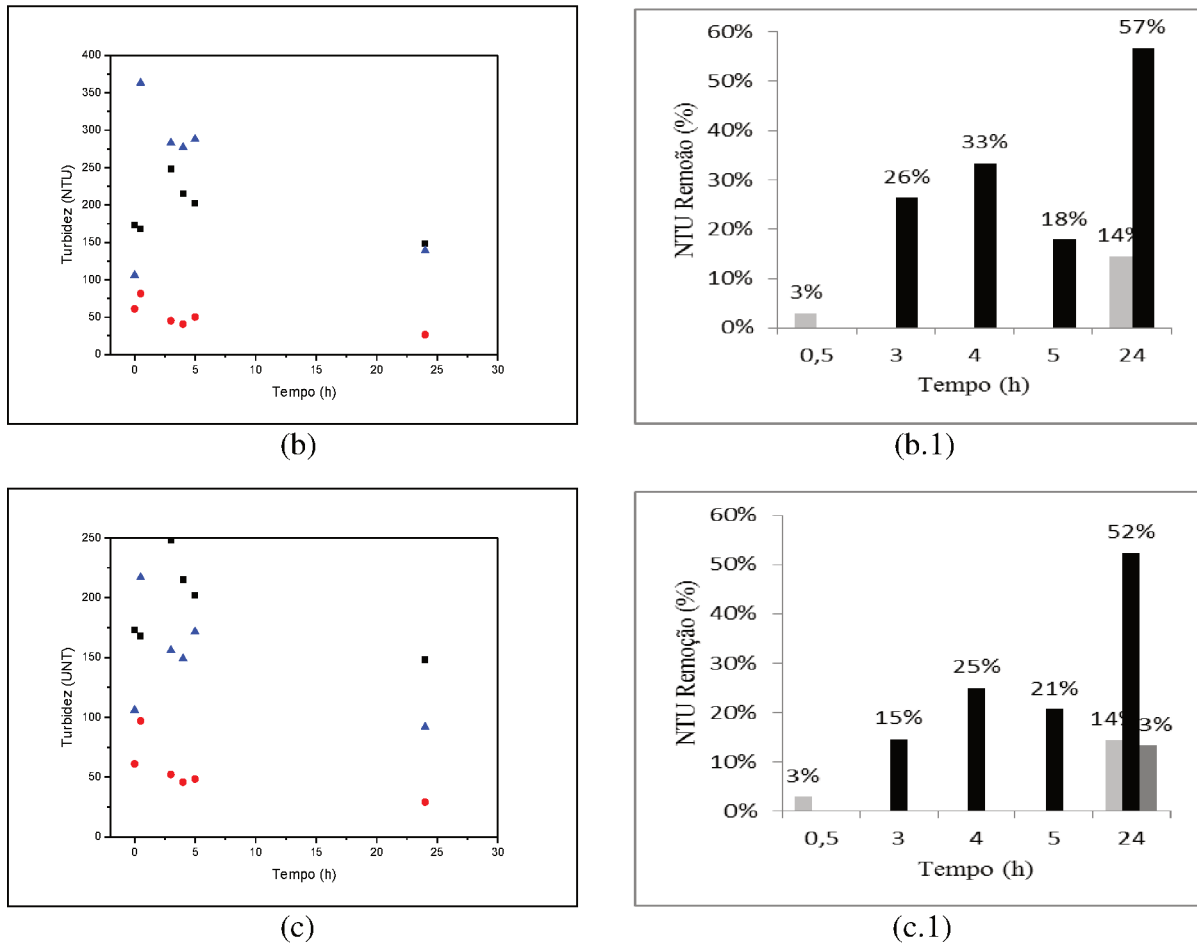
Os gráficos de dispersão da Figura 4.6 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de 0,095 g.L<sup>-1</sup> e o ácido cítrico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L<sup>-1</sup>; (b, b.1) 7,14 g.L<sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L<sup>-1</sup>.



(a)



(a.1)

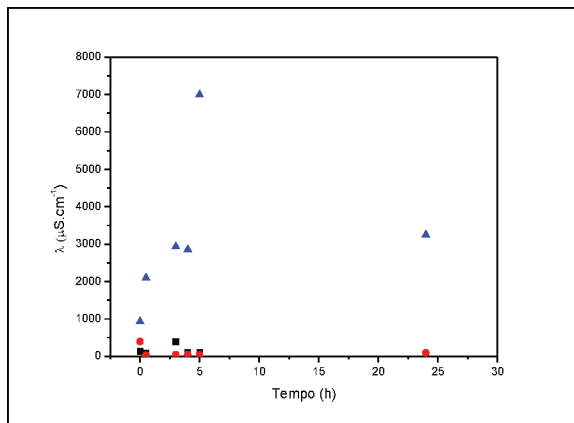


**Figura 4.6.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$  (■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH). (■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

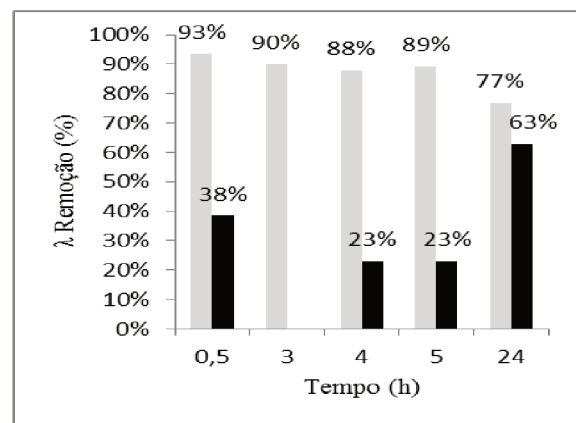
A Figura 4.6, mostra que houve remoção de impurezas baseados na medida de turbidez nos três experimentos, mas principalmente na coagulação com cloreto férrico empregando o ácido cítrico sem controle de pH, com maior remoção de 57% em 24 horas na concentração de  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  do ácido cítrico. Todas as concentrações de ácido cítrico são influenciadas com o decorrer do tempo de decantação.

### Ácido Cítrico – Sulfato de Ferro (III) e Amônio

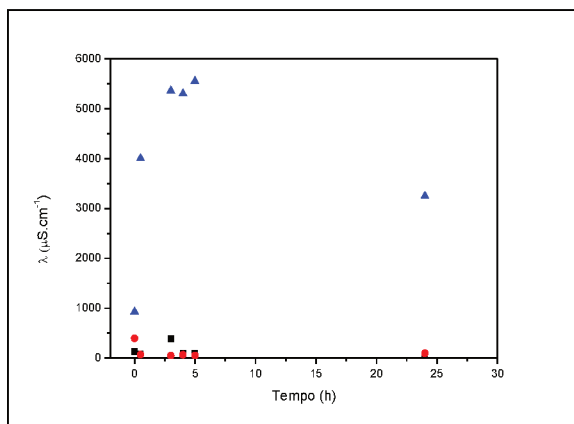
Os gráficos de dispersão da Figura 4.7 representam os valores de condutividade (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



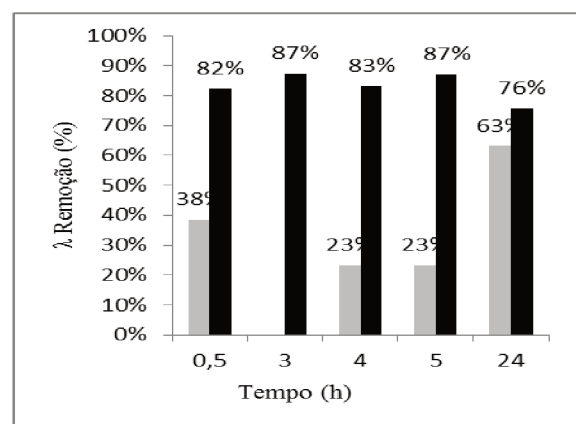
(a)



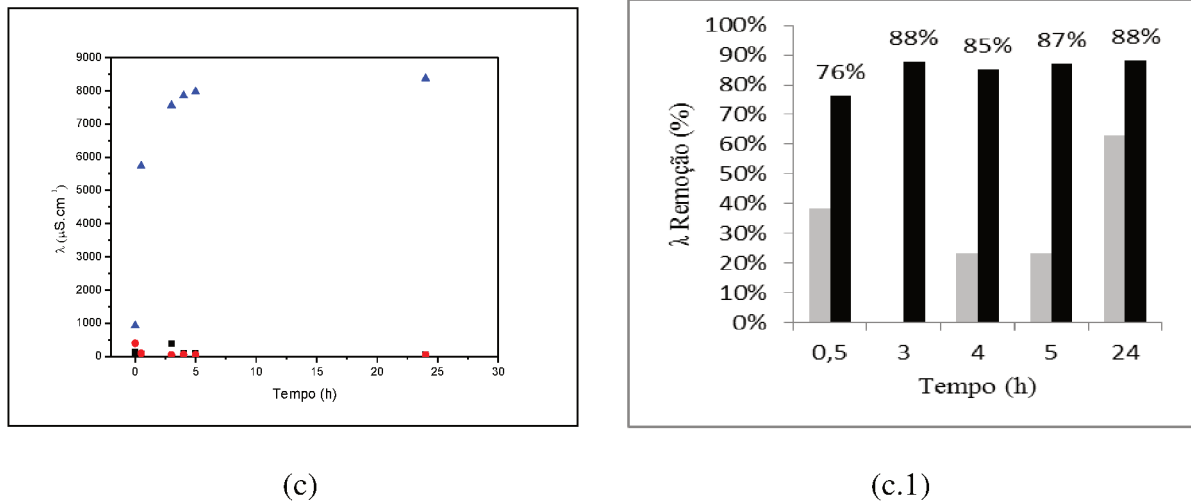
(a.1)



(b)



(b.1)



**Figura 4.7.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$

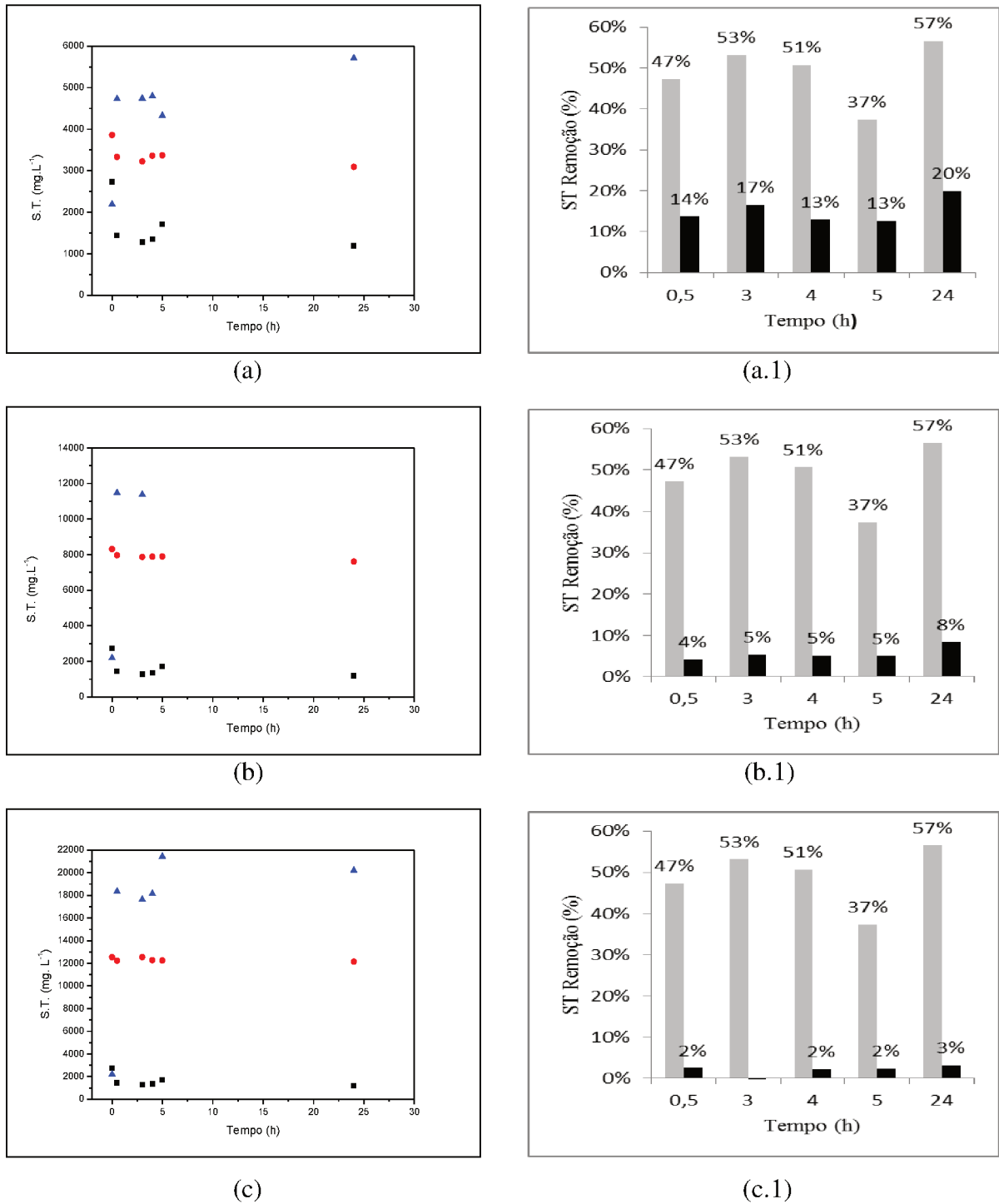
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).  
 (■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

Na figura 4.7, houve remoção de impurezas com base na medida de condutividade nos experimentos, coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio e coagulação com sulfato de ferro (III) e amônio empregando o ácido cítrico sem controle de pH, mas para a concentração de  $2,38 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  de ácido cítrico a maior remoção ocorre com a coagulação com sulfato de ferro (III) e amônio, em torno de 87%; já nas concentrações de ácido cítrico de  $2,38 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  e  $7,14 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  a maior remoção ocorre com a coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio empregando o ácido cítrico sem controle de pH, com valor aproximado de 84%.

Os tempos de decantação interferem nos resultados de remoção, mas com influência não tão significativa.

### Ácido Cítrico – Sulfato de Ferro (II) e Amônio

Os gráficos de dispersão da Figura 4.8 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio na concentração de  $0,095 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  e o ácido cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ .



**Figura 4.8.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

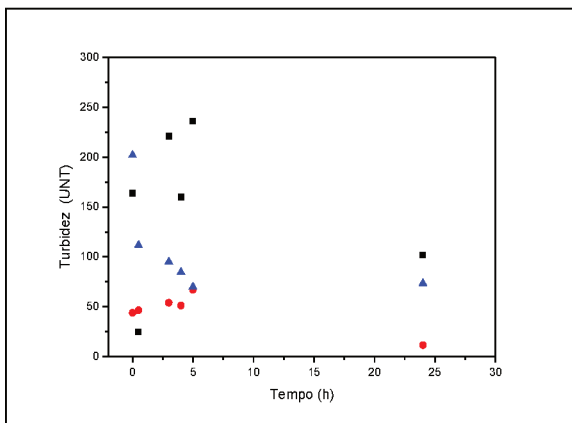
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

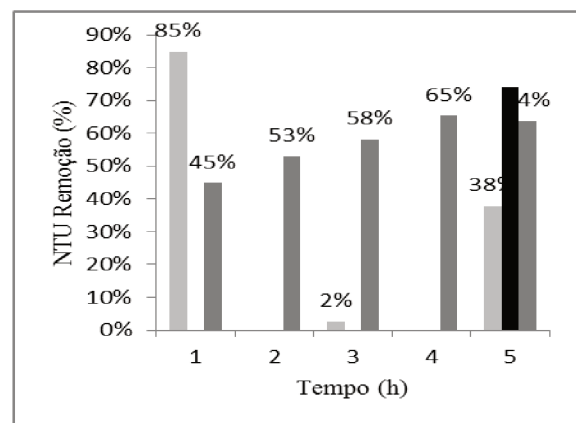
Na Figura 4.8, ocorre maior remoção de impurezas com base na medida de sólidos totais no experimento com coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio em todas as concentrações por igual e com remoção média de 49%, a influência do tempo de decantação tem relevância apenas no tempo de 5 horas, onde o valor em percentagem de remoção é de 37%.

### Ácido Cítrico – Sulfato de Ferro (II) e Amônio

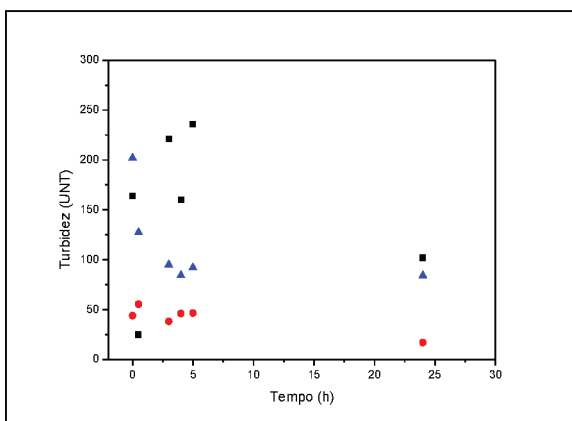
Os gráficos de dispersão da Figura 4.9 representam os valores de turbidez (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de turbidez (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



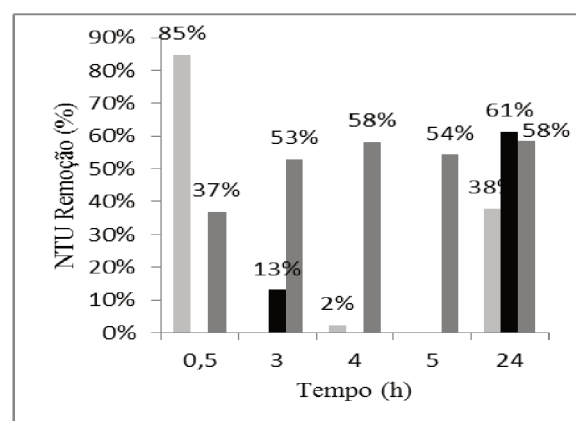
(a)



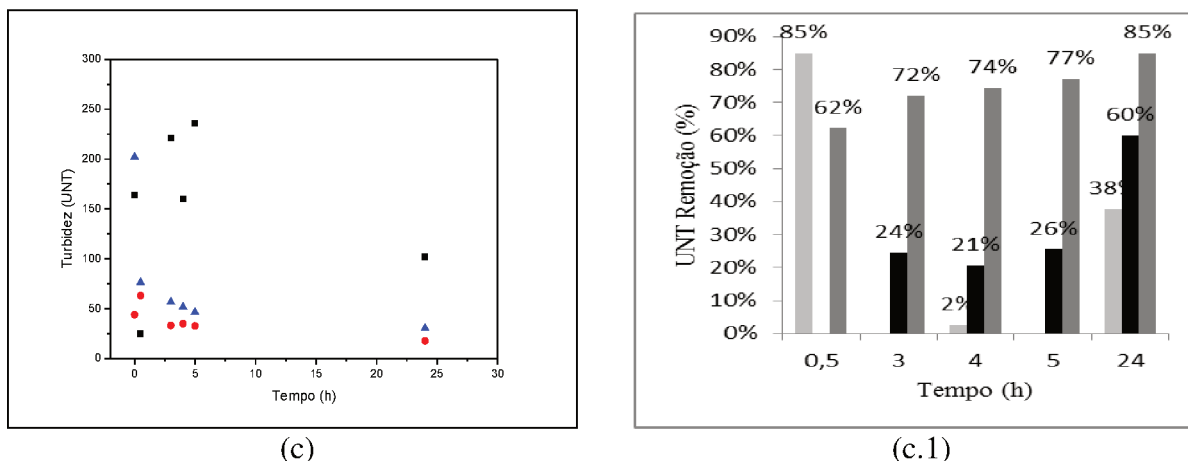
(a.1)



(b)



(b.1)



**Figura 4.9.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

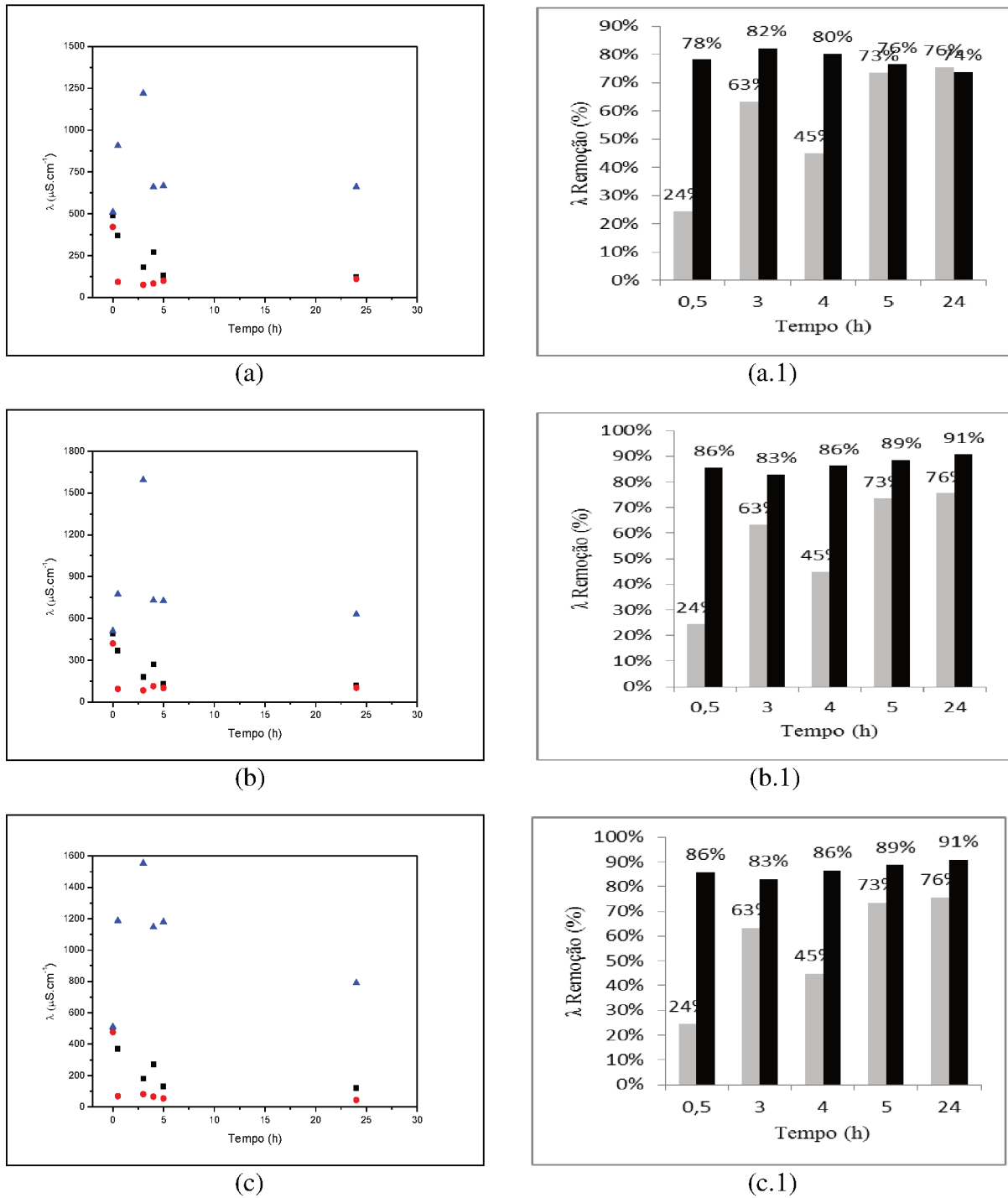
A Figura 4.9, ilustra que houve remoção de impurezas em todos os experimentos, mas onde ocorre maior remoção de impurezas com base nos dados de turbidez, foi com a coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio em todas as concentrações de ácido cítrico no ponto de 0,5 hora de 85%. No decorrer do tempo de decantação, principalmente com a coagulação com sulfato de ferro (III) e amônio e acréscimo do ácido cítrico com controle de pH a percentagem de remoção foi aumentando e na concentração de  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$  houve remoção de 85% de impurezas dos dados de turbidez.

## Ácido Salicílico

### Ácido Salicílico – Sulfato de Alumínio

Os gráficos de dispersão da Figura 4.10 representam os valores de condutividade (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de alumínio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$





**Figura 4.10.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

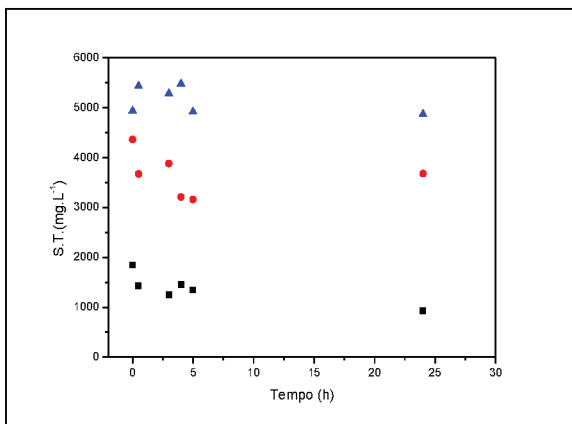
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

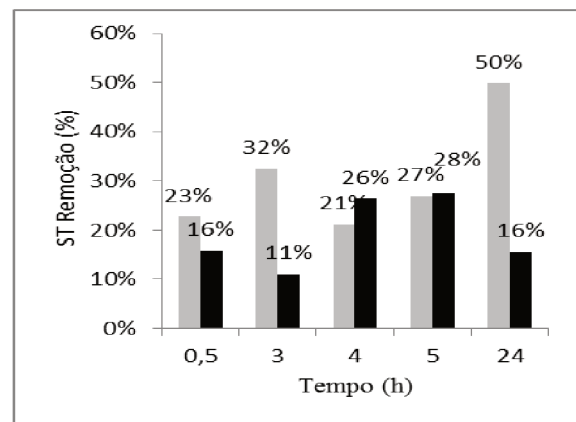
A Figura 4.10, expõe como resultado mais satisfatório para remoção de impurezas com base nos dados de condutividade o experimento com coagulação com sulfato de alumínio e acréscimo do ácido salicílico sem controle de pH. Praticamente, o resultado de remoção não sofre alteração expressiva mesmo quando a concentração do ácido cítrico é elevada em até cinco vezes (de 2,38 para 11,90). O tempo de decantação e a concentração do ácido salicílico não são tão relevantes para a percentagem de remoção de impurezas.

### Ácido Salicílico – Sulfato de Alumínio

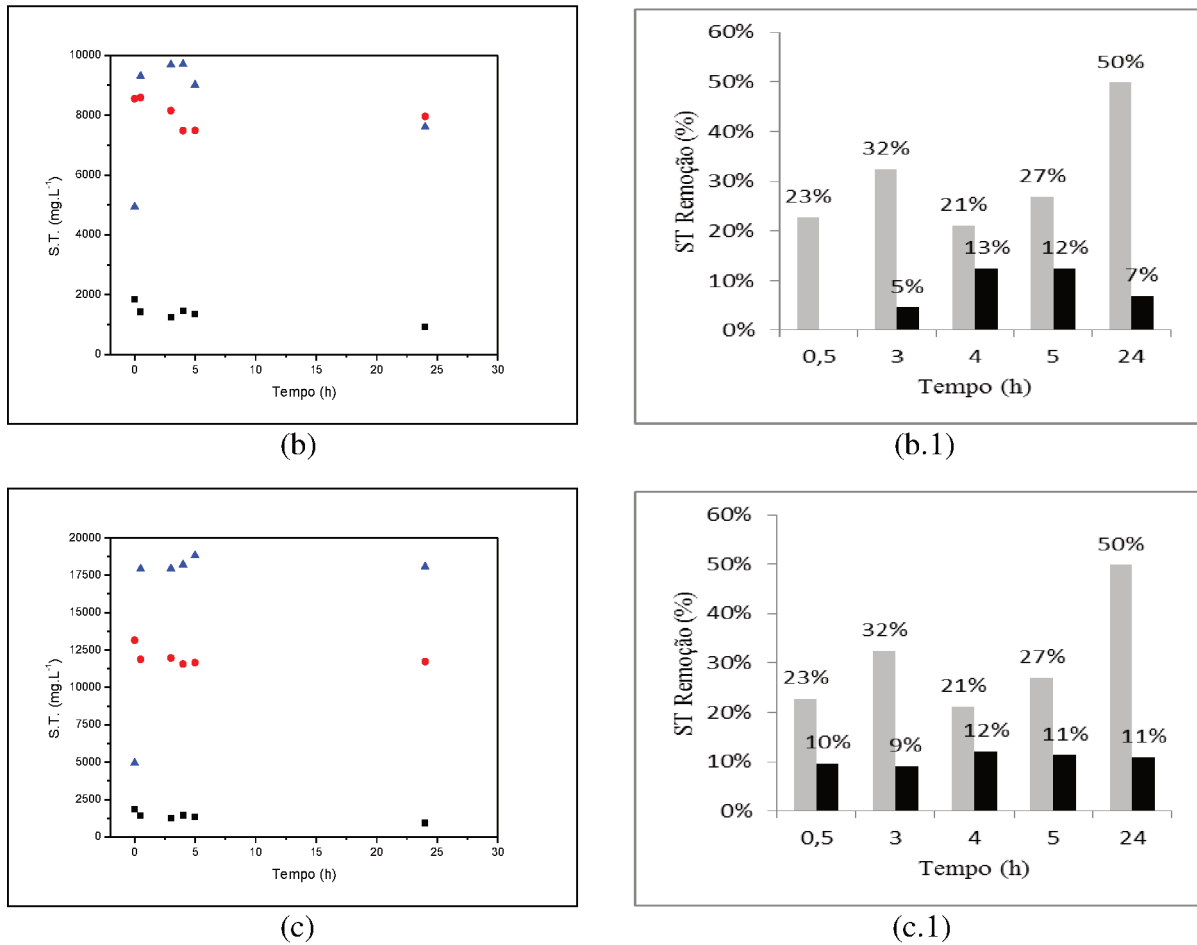
Os gráficos de dispersão da Figura 4.11 representam os valores de sólidos totais(a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de alumínio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



(a)



(a.1)



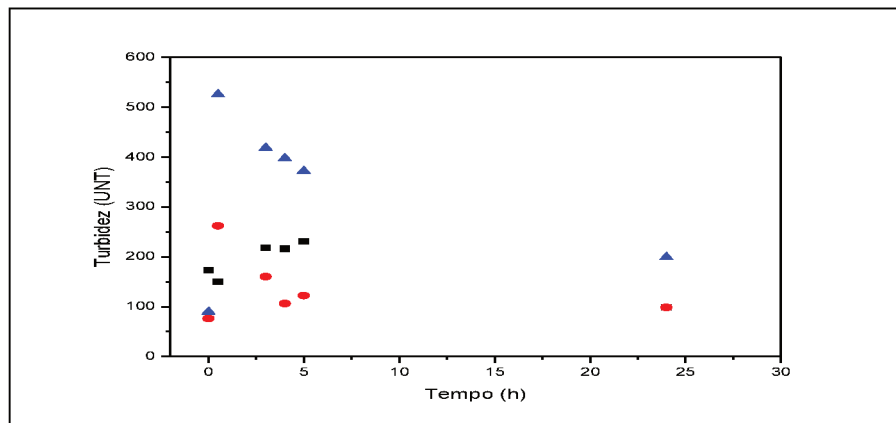
**Figura 4.11.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).  
(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

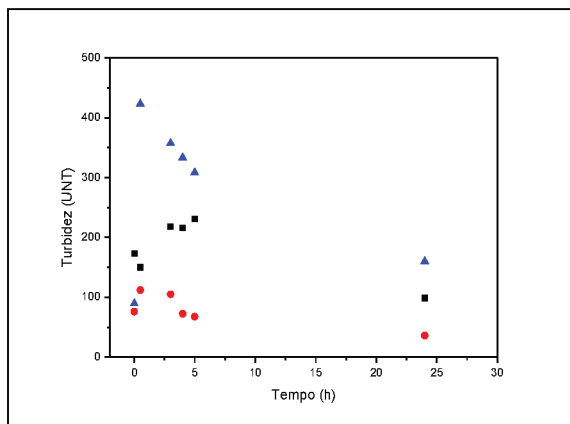
O experimento com coagulação com sulfato de alumínio e acréscimo do ácido salicílico sem controle de pH, prejudica o sistema aumentando a concentração de sólidos totais, o sistema indicado é o de coagulação com sulfato de alumínio. Pela Figura 4.11, a decantação por 24 horas deve ser empregada, ou seja, o tempo de decantação influi nos resultados. A correção de pH desfavorece o processo de tratamento da água cinza e deve ser desencorajada.

## Ácido Salicílico – Sulfato de Alumínio

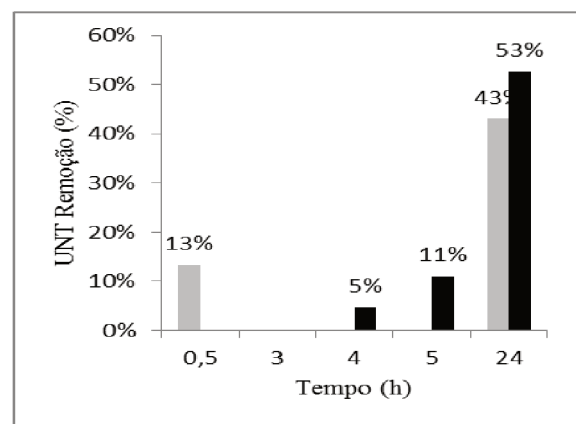
Os gráficos de dispersão da Figura 4.12 representam os valores de turbidez (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de turbidez (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de alumínio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido salicílico nas concentrações: (a)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



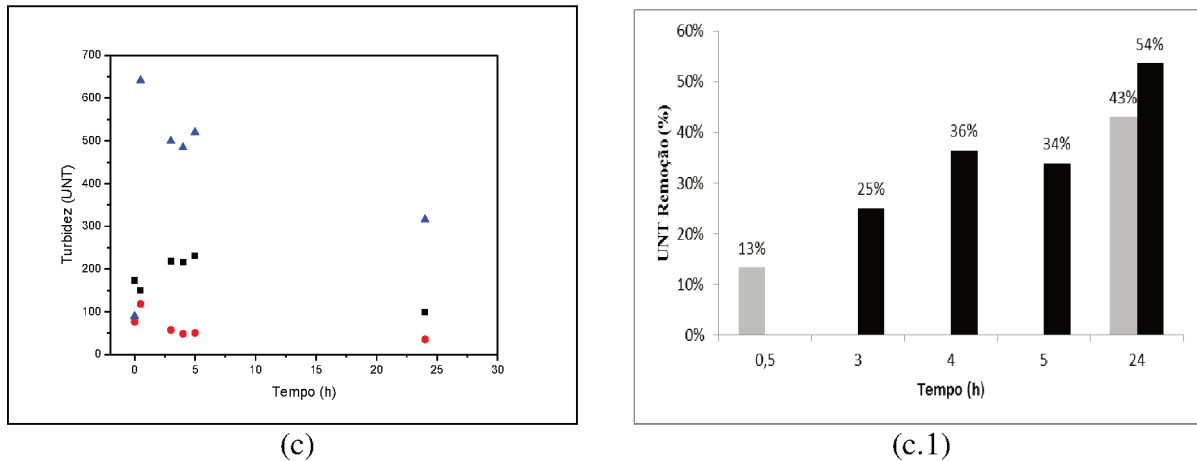
(a)



(b)



(b.1)



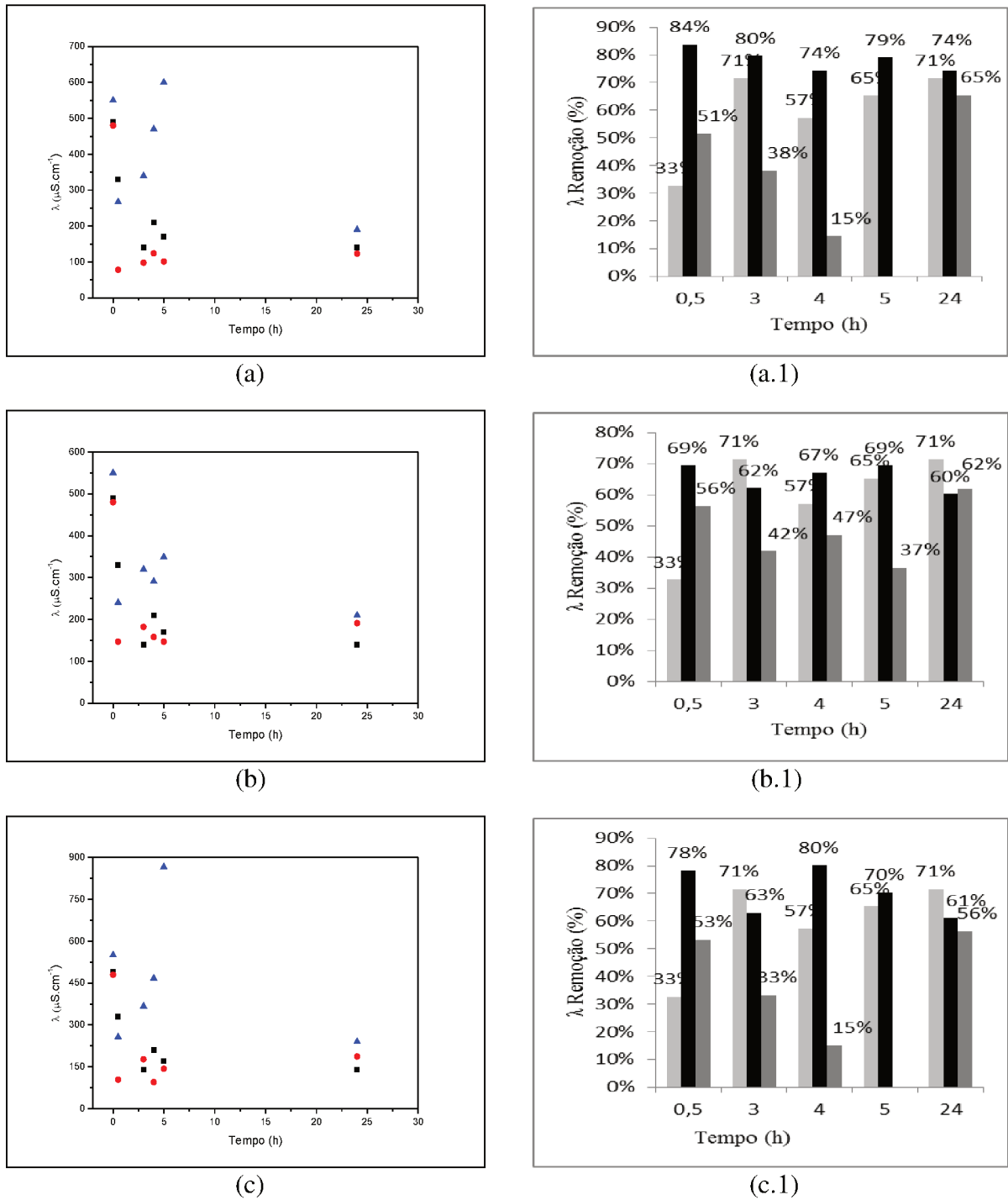
**Figura 4.12.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).  
 (■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

A Figura 4.12, expõe que não ocorreu remoção das impurezas em nenhum dos três experimentos, na concentração de ácido salicílico de  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ , já nas concentrações de  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$  ocorre remoção das impurezas dos parâmetros de turbidez com o experimento de coagulação com sulfato de alumínio e acréscimo do ácido salicílico sem controle de pH, no ponto de decantação de 24 horas, com valor aproximado de 54%. A concentração de  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$  do ácido salicílico foi a que apresentou maiores valores de remoção.

### Ácido Salicílico – Cloreto Férrico

Os gráficos de dispersão da figura 4.13 representam os valores de condutividade (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



**Figura 4.13.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

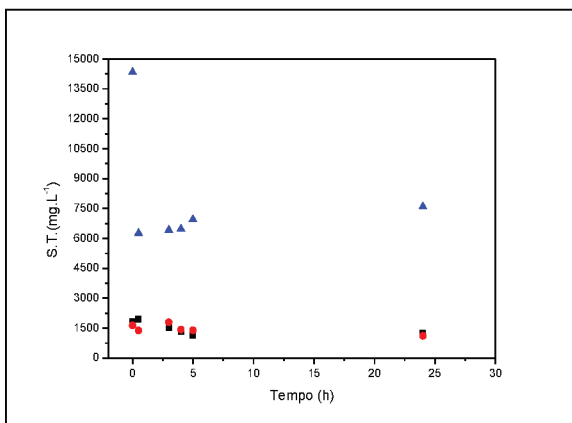
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

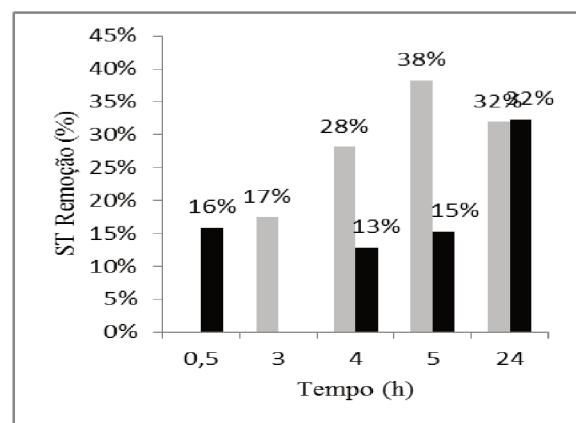
Na Figura 4.13, nota-se que ocorreu remoção de impurezas na análise de condutividade em todos os experimentos, mas as que mais removeram as impurezas foram as soluções com coagulação com cloreto férrico e acréscimo do ácido salicílico sem controle de pH. O tempo de decantação tem relevância para os processos de coagulação com sulfato de alumínio e com a coagulação com sulfato de alumínio e acréscimo do ácido salicílico com controle de pH.

### Ácido Salicílico – Cloreto Férrico

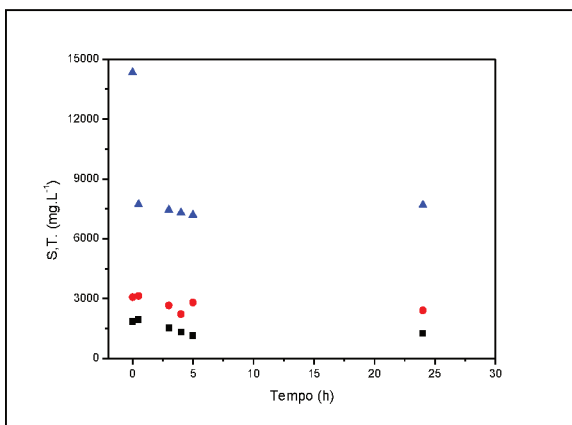
Os gráficos de dispersão da figura 4.14 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



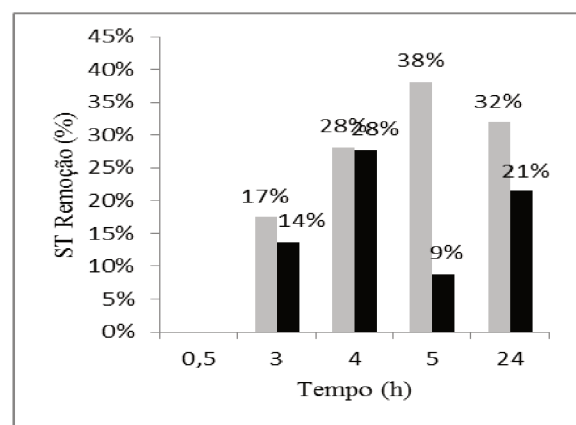
(a)



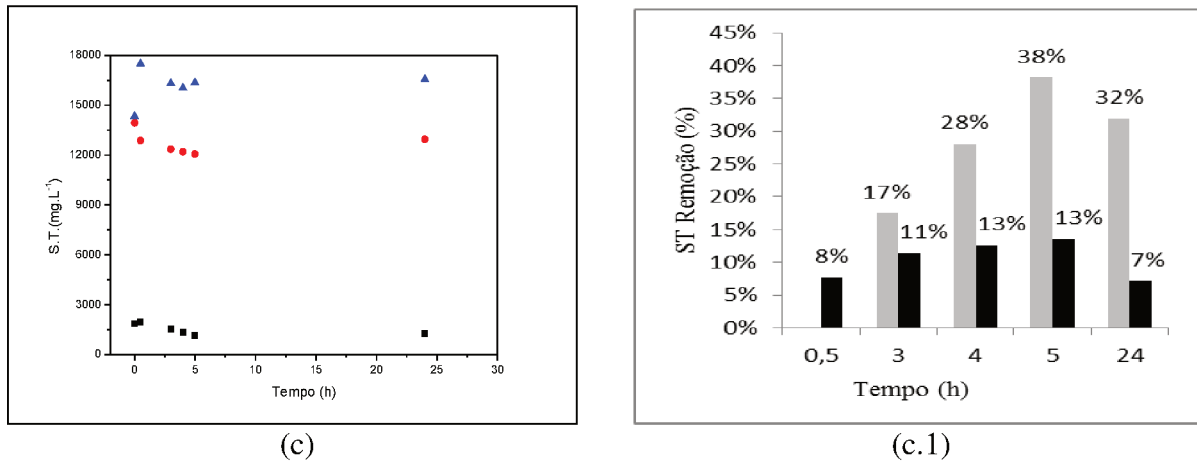
(a.1)



(b)



(b.1)



**Figura 4.14.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Salicílico nas concentrações :(a, a.1) 2,38 g.L<sup>-1</sup>; (b, b.1) 7,14 g.L<sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L<sup>-1</sup>

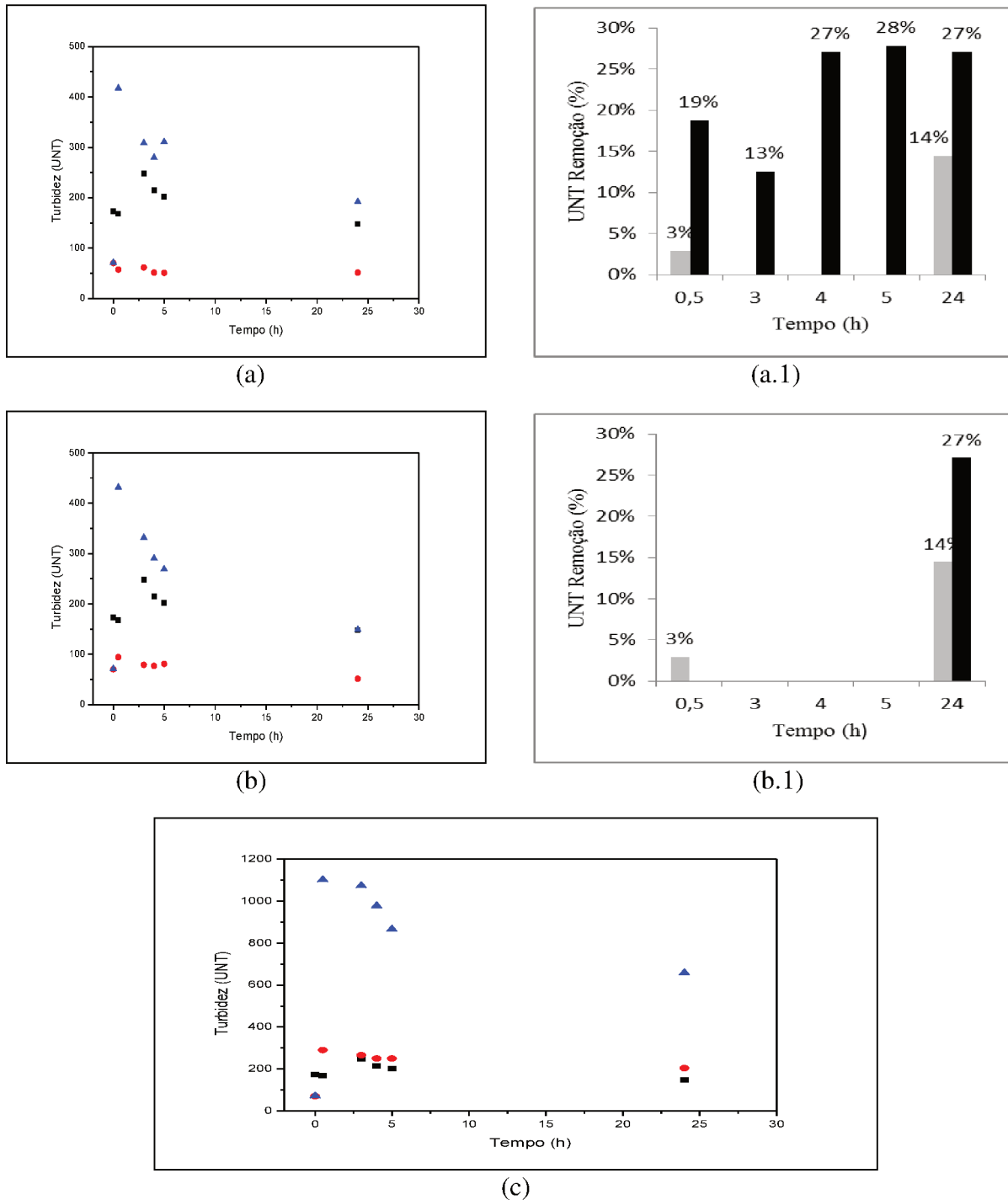
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).  
(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

A Figura 4.14, apresenta remoção de impurezas com base nos valores de sólidos totais nos sistemas com coagulação com cloreto férrico e com a coagulação com cloreto férrico e acréscimo do ácido salicílico com controle de pH, mas o tratamento mais efetivo é o com coagulante cloreto férrico. O tempo de decantação influi nos sistemas, onde o tempo de 5 horas em todas as concentrações de ácido salicílico apresenta o valor de 38% de remoção.

### Ácido Salicílico – Cloreto Férrico

Os gráficos de dispersão da figura 4.15 representam os valores de turbidez (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de turbidez (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de 0,095 g.L<sup>-1</sup> e o ácido salicílico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L<sup>-1</sup>; (b, b.1) 7,14 g.L<sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L<sup>-1</sup>.





**Figura 4.15.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

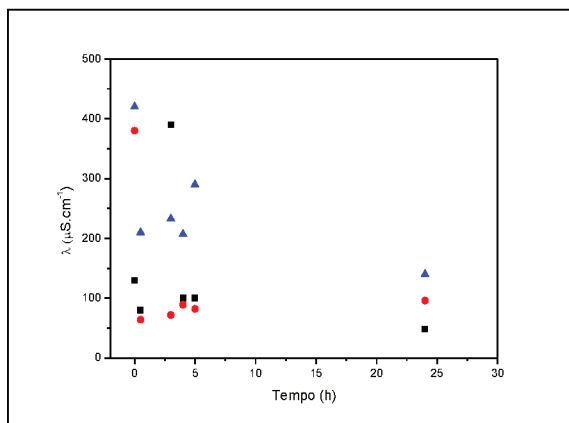
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

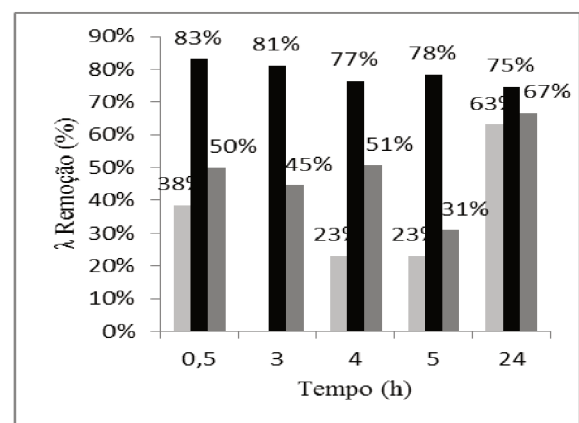
Na Figura 4.15, ocorreu maior remoção com o sistema de coagulação com cloreto férrico e acréscimo do ácido salicílico sem controle de pH nas concentrações de ácido salicílico de  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$  e  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ , mesmo assim os resultados não são tão animadores, já que a maior percentagem foi de 28% no tempo de decantação de 5 horas para a menor concentração de ácido.

### Ácido Salicílico – Sulfato de Ferro (II) e Amônio

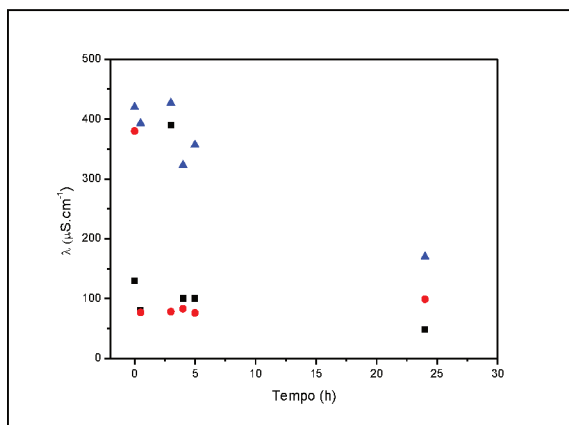
Os gráficos de dispersão da figura 4.16 representam os valores de condutividade (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



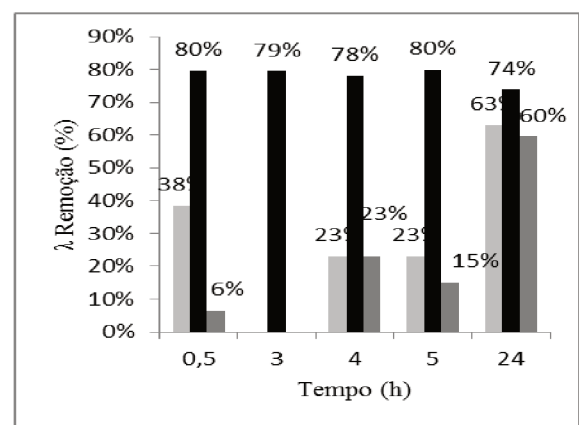
(a)



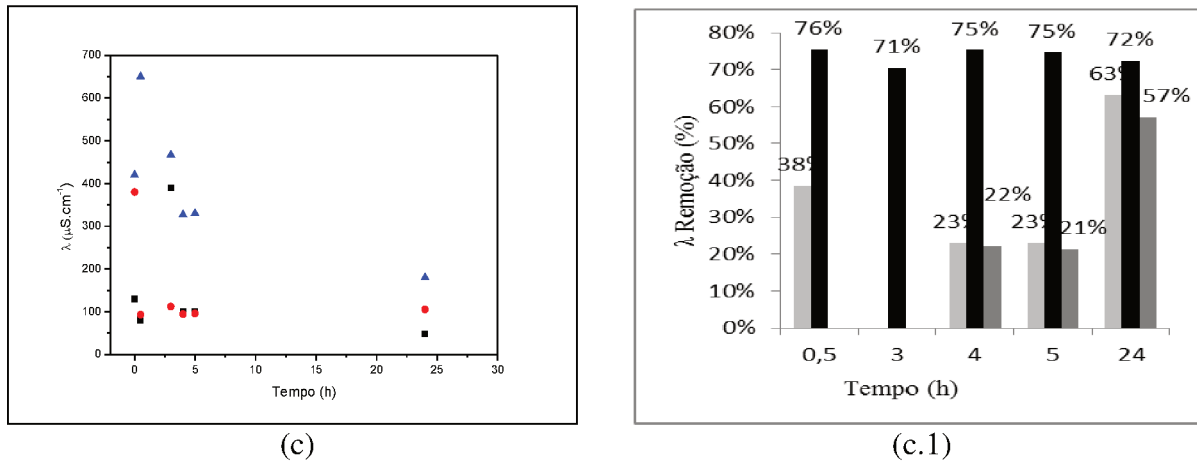
(a.1)



(b)



(b.1)



**Figura 4.16.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

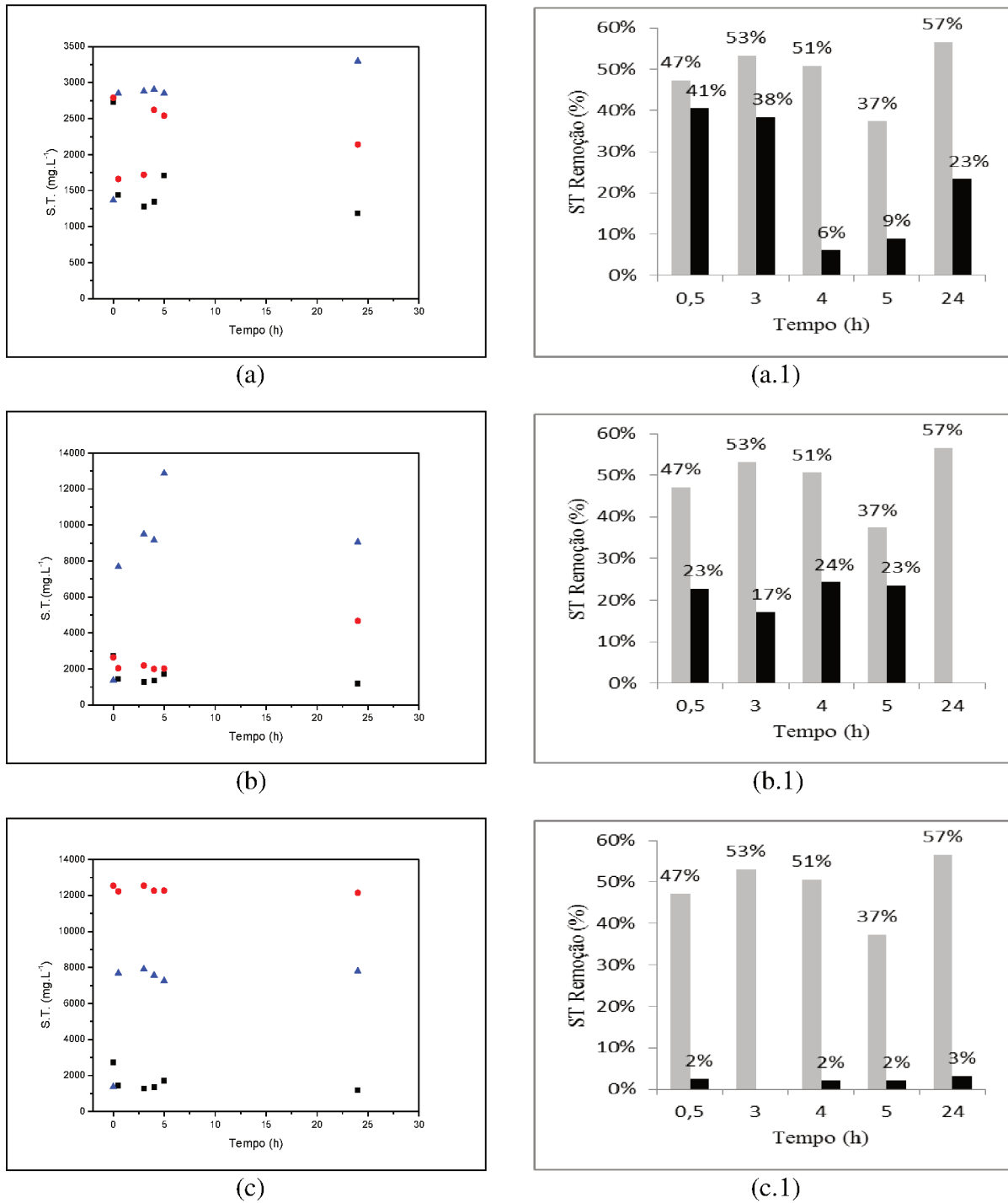
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

Na figura 4.16, ocorre remoção de impurezas baseados nos valores de condutividade nos três experimentos, mas a maior percentagem de remoção ocorreu com a coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio com a coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio e acréscimo do ácido salicílico sem controle de pH, neste caso a concentração do ácido salicílico e o tempo de decantação não são tão relevantes para a percentagem de remoção de impurezas.

#### Ácido Salicílico – Sulfato de Ferro (II) e Amônio

Os gráficos de dispersão da figura 4.17 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



**Figura 4.17.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

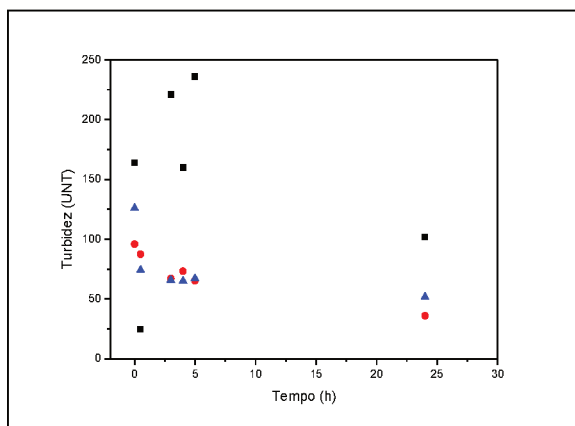
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

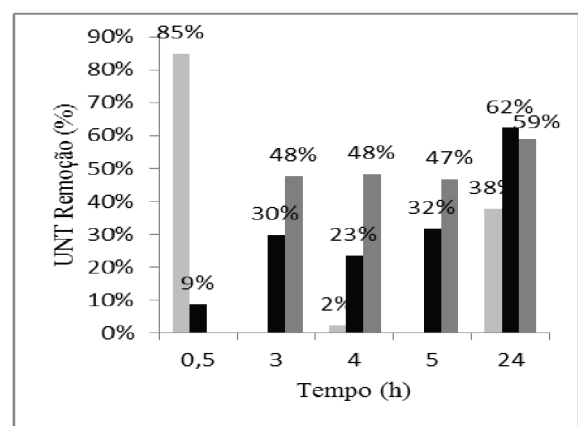
A Figura 4.17 apresenta que houve remoção de impurezas baseados nos sólidos totais com os experimentos de coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio e com coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio e acréscimo do ácido salicílico, mas nas três concentrações de ácido salicílico a maior remoção foi com a coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio, onde o maior valor de remoção foi de 57%, observa-se que as porcentagens de remoção com o decorrer do tempo de decantação são as mesmas para as três concentrações de ácido salicílico, ou seja para o experimento com coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio independe a concentração do ácido salicílico.

### Ácido Salicílico – Sulfato de Ferro (II) e Amônio

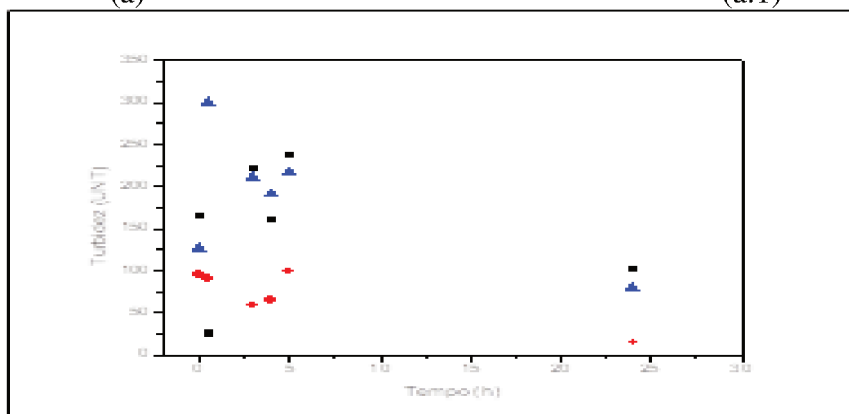
Os gráficos de dispersão da Figura 4.18 representam os valores de turbidez (a, b e c) com o tempo e de porcentagem de remoção de impurezas de turbidez (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .

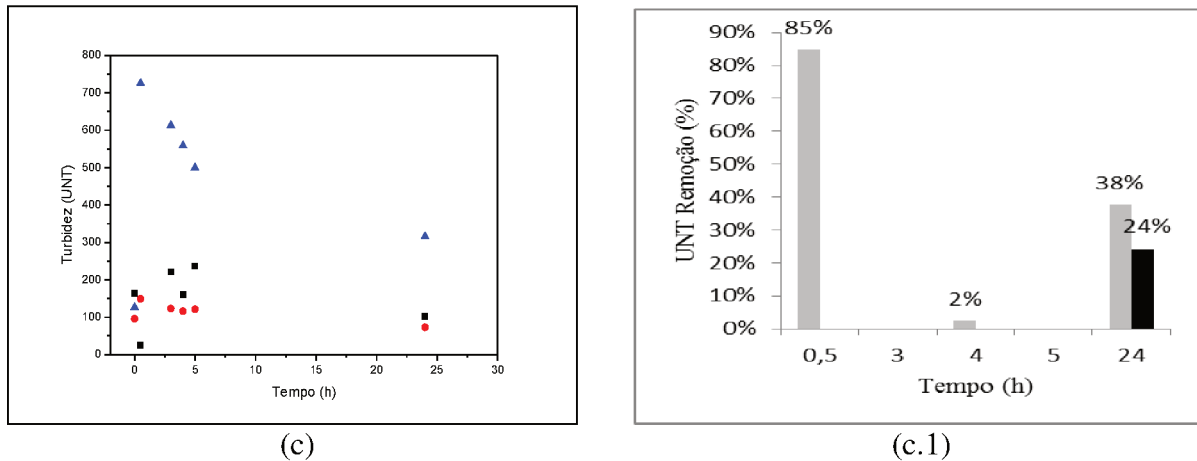


(a)



(a.1)





**Figura 4.18.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Salicílico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

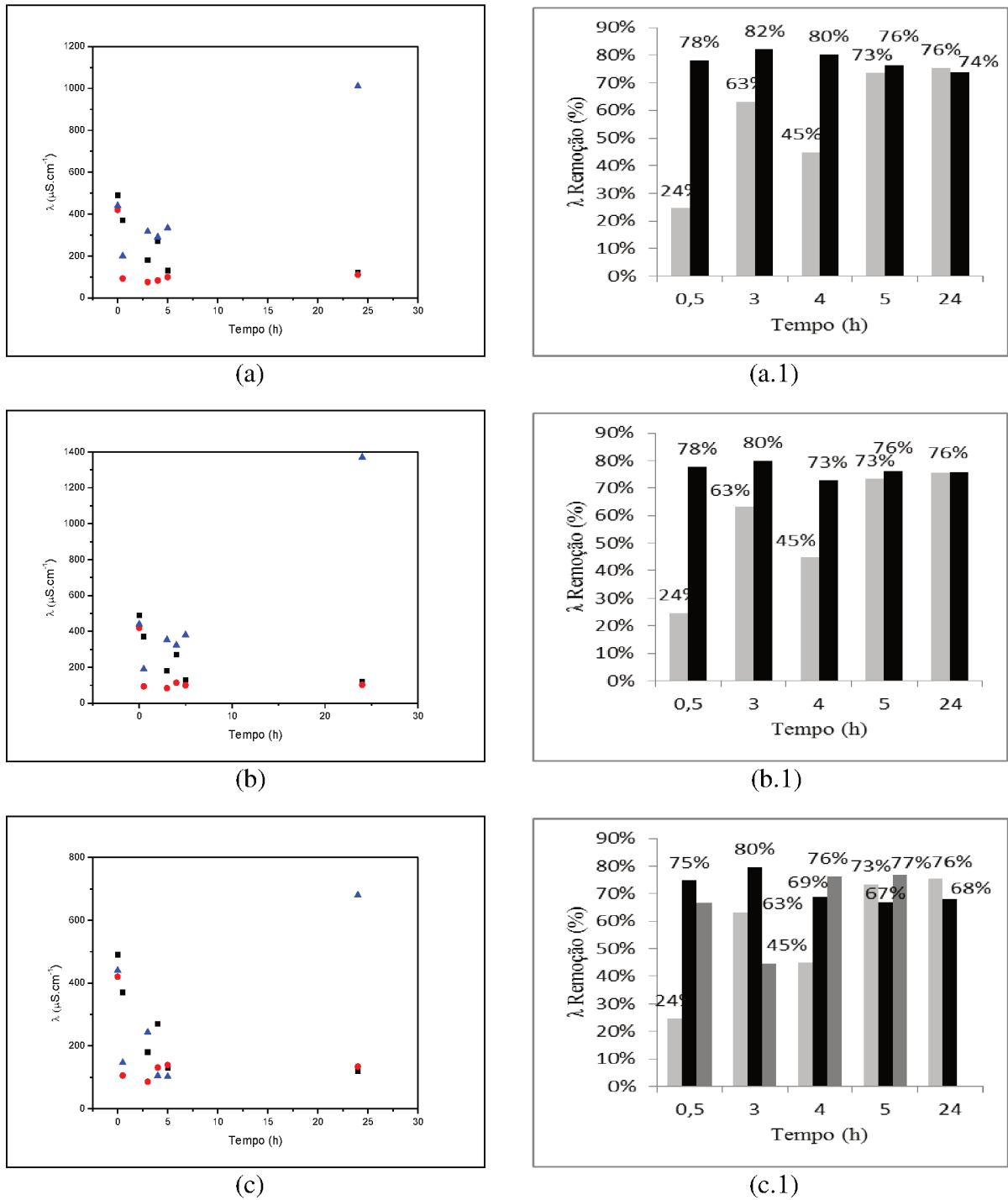
(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

A Figura 4.18 ilustra que ocorreu remoção de impurezas baseado nos valores de turbidez nos três experimentos, mas houve maior remoção com a coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio, com maior valor de percentagem de remoção em 85% nas três concentrações de ácido salicílico, exceção ocorreu na concentração de  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  do ácido salicílico que também apresentou remoção de 85% na a coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio com acréscimo de ácido salicílico sem controle de de pH. A concentração do ácido salicílico e o tempo de decantação interferem na remoção de impurezas do sistema.

## Ácido Ascórbico

### Ácido Ascórbico – Sulfato de Alumínio

Os gráficos de dispersão da figura 4.19 representam os valores de condutividade (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de alumínio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



**Figura 4.19.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

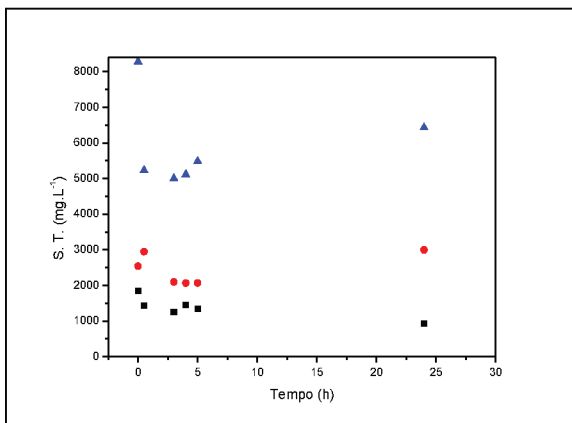
( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

( ■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH ).

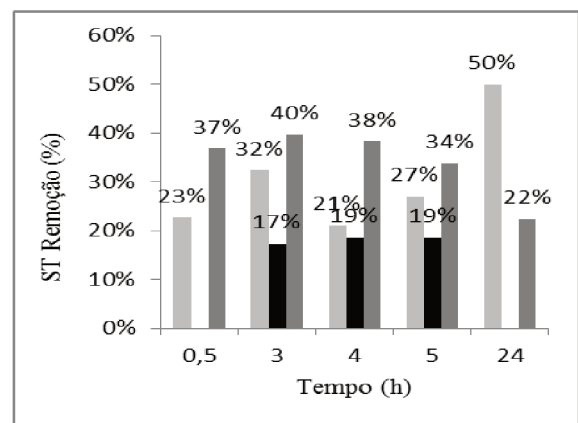
A condutividade é removida, na Figura 4.19, nos três experimentos, mas com maior percentagem de remoção com a coagulação com sulfato de alumínio com acréscimo do ácido ascórbico sem controle de de pH, apresentando resultados similares em qualquer concentração ou tempo de decantação do experimento.

### Ácido Ascórbico – Sulfato de Alumínio

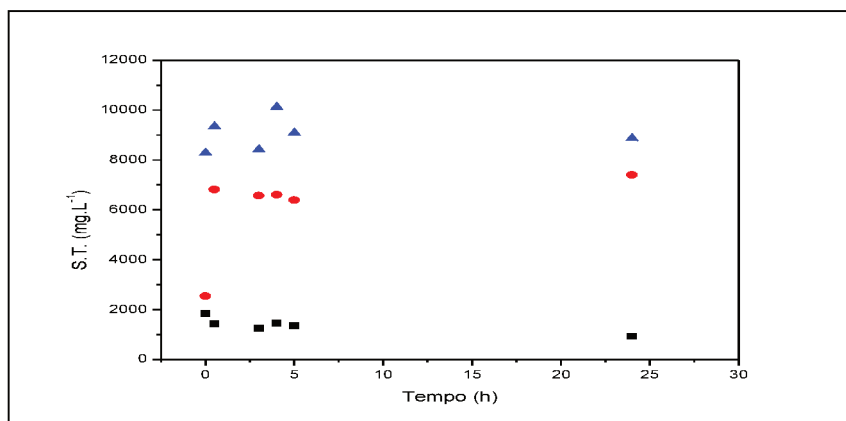
Os gráficos de dispersão da figura 4.20 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de alumínio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



(a)

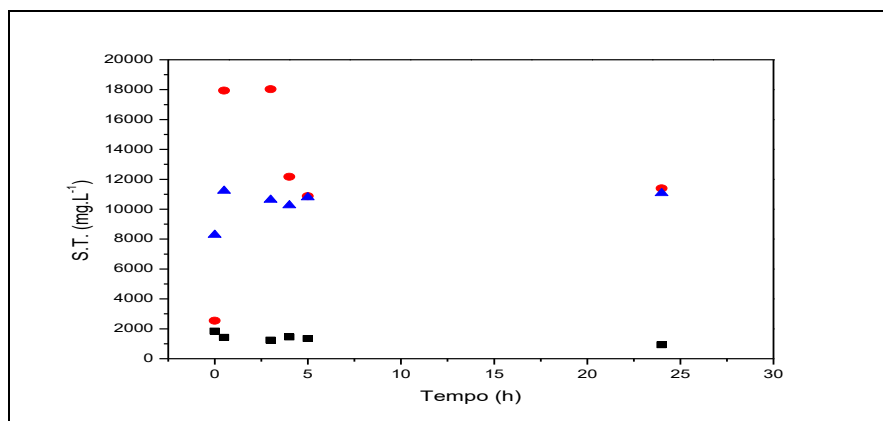


(a.1)



(b)





(c)

**Figura 4.20.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

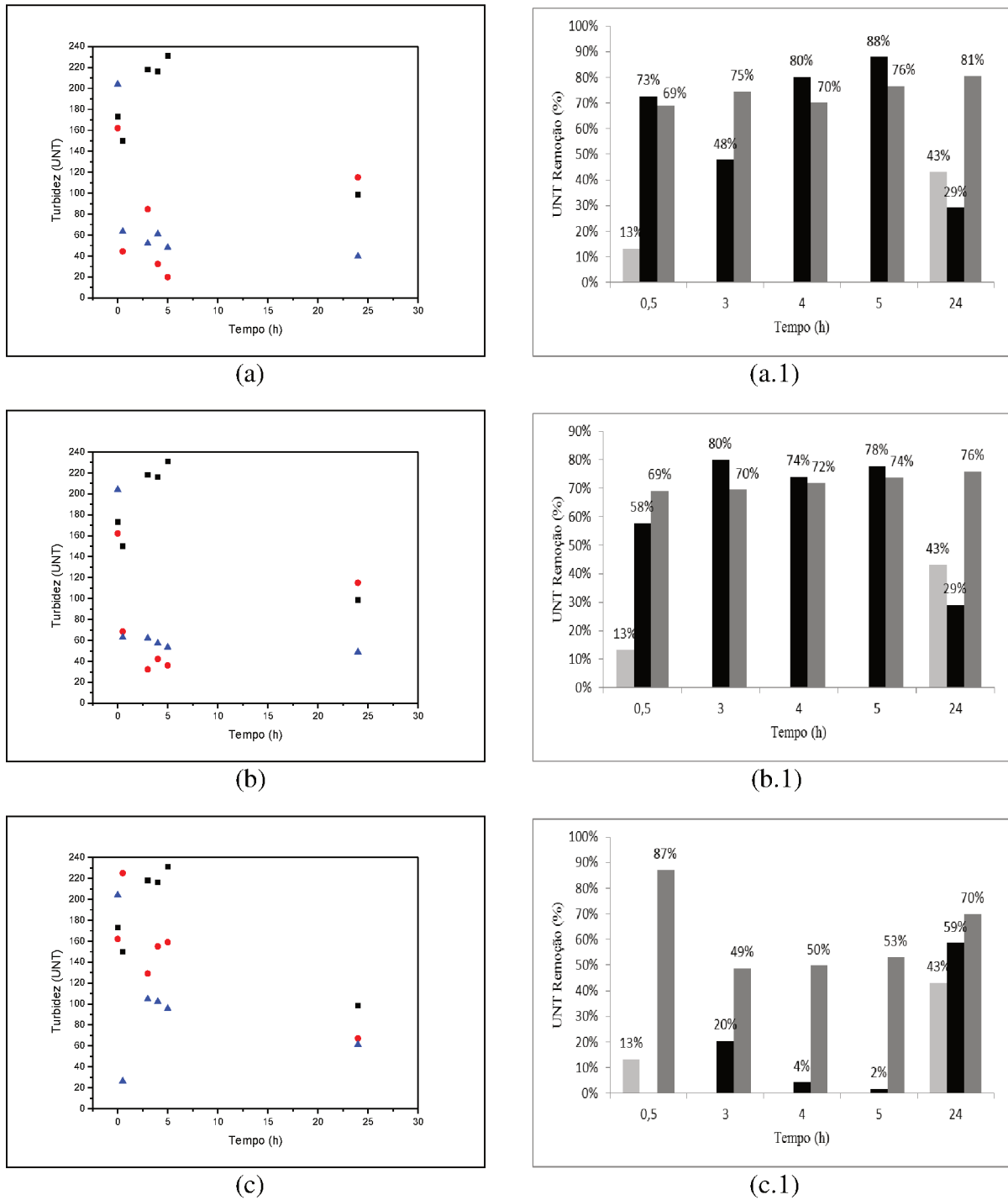
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

A Figura 4.20, ilustra que houve percentagem de remoção de impurezas com base nos valores de sólidos totais apenas na concentração de  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$  do ácido ascórbico para os três tipos de experimentos: coagulação com sulfato de alumínio, coagulação com sulfato de alumínio e acréscimo do ácido ascórbico sem controle de pH e coagulação com sulfato de alumínio e acréscimo do ácido ascórbico com controle de pH, com máxima remoção em 50% apenas com o uso da coagulação com sulfato de alumínio. As concentrações restantes evidenciam o claro aumento dos sólidos totais com o aumento de concentração do ácido ascórbico.

### Ácido Ascórbico – Sulfato de Alumínio

Os gráficos de dispersão da Figura 4.21 representam os valores de turbidez (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de turbidez (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de alumínio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



**Figura 4.21.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

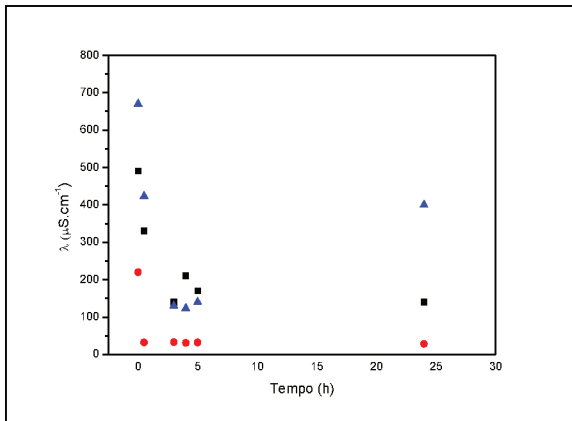
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

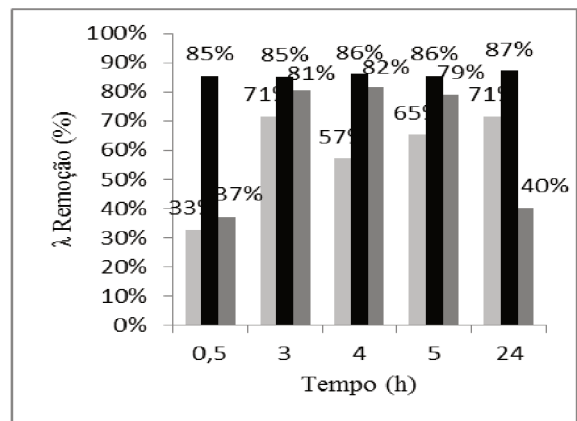
A Figura 4.21, que ocorreu remoção de impurezas baseados na turbidez, nos três experimentos: coagulação com sulfato de alumínio, coagulação com sulfato de alumínio e acréscimo do ácido ascórbico sem controle de pH e coagulação com sulfato de alumínio e acréscimo do ácido ascórbico com controle de pH, só que os experimentos com coagulação com sulfato de alumínio e acréscimo do ácido ascórbico sem controle de pH e com controle de pH, evidenciaram os maiores valores de remoção e resultados similares. A concentração 11,90 g.L<sup>-1</sup> de ácido ascórbico prejudicou a percentagem de remoção da coagulação com sulfato de alumínio e acréscimo do ácido ascórbico sem controle de pH.

### Ácido Ascórbico – Cloreto Férrico

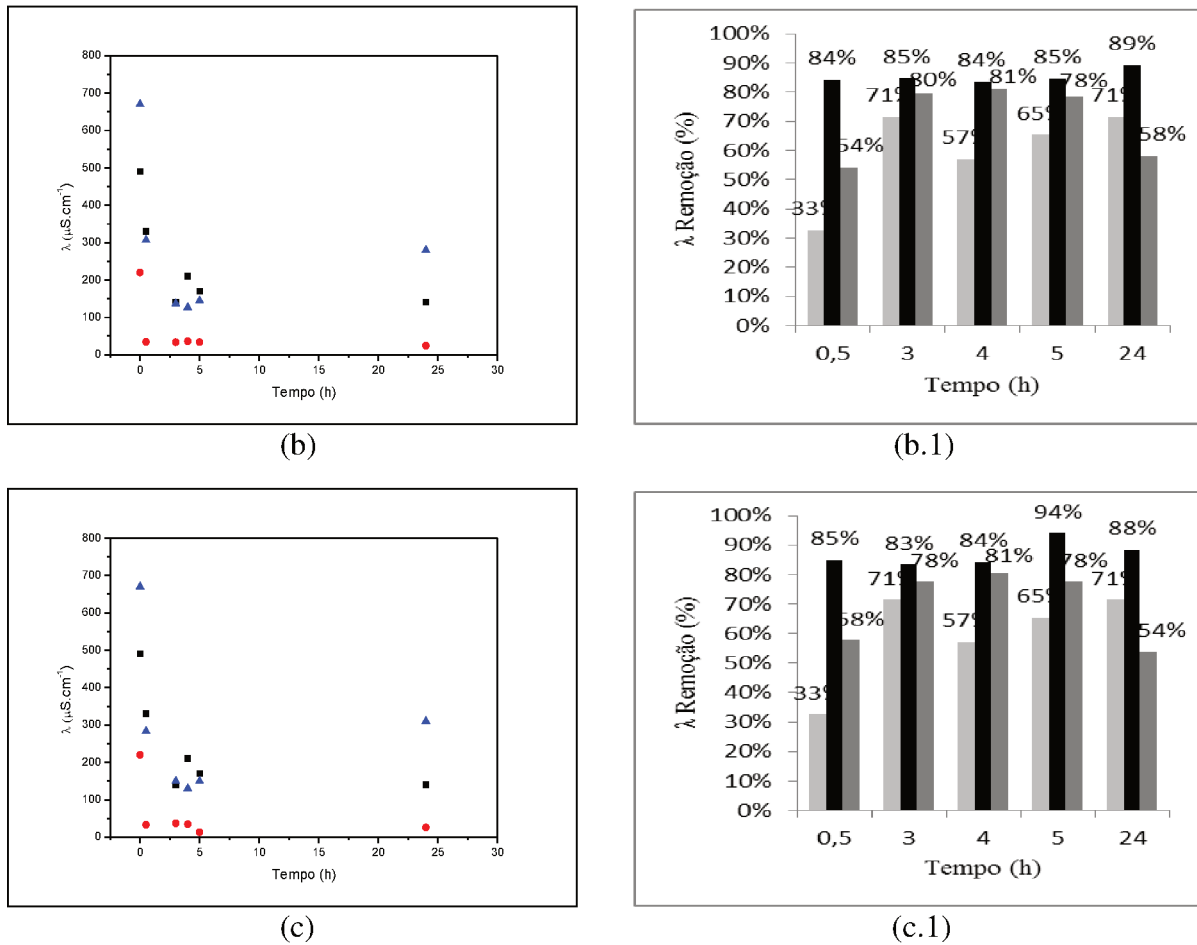
Os gráficos de dispersão da figura 4.22 representam os valores de condutividade (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de 0,095 g.L<sup>-1</sup> e o ácido ascórbico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L<sup>-1</sup>; (b, b.1) 7,14 g.L<sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L<sup>-1</sup>.



(a)



(a.1)



**Figura 4.22.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L<sup>-1</sup>; (b, b.1) 7,14 g.L<sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L<sup>-1</sup>

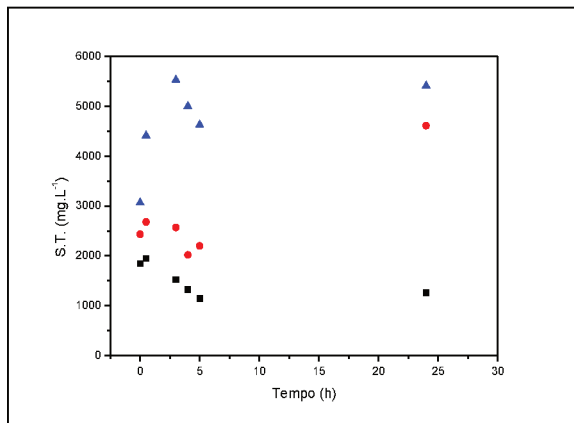
( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

( ■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

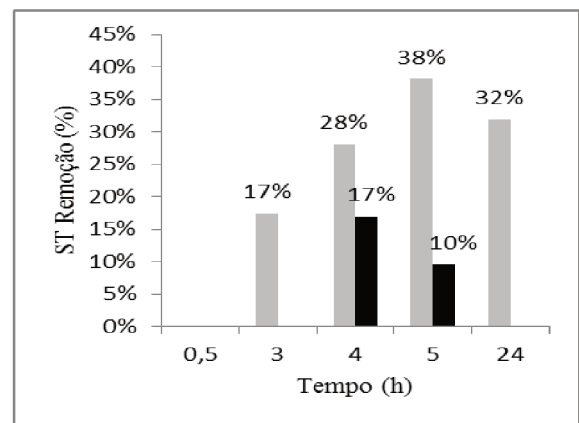
Os resultados da Figura 4.22 apresentam redução dos valores de condutividade em todas as concentrações, tempos de decantação e nos três experimentos, como apresentam resultados similares quanto à remoção com coagulação com cloreto férrico e acréscimo do ácido ascórbico sem controle de pH, o maior valor obtido foi de 94% na concentração de 11,90 g.L<sup>-1</sup> do ácido ascórbico e no tempo de 5 horas.

## Ácido Ascórbico – Cloreto Férrico

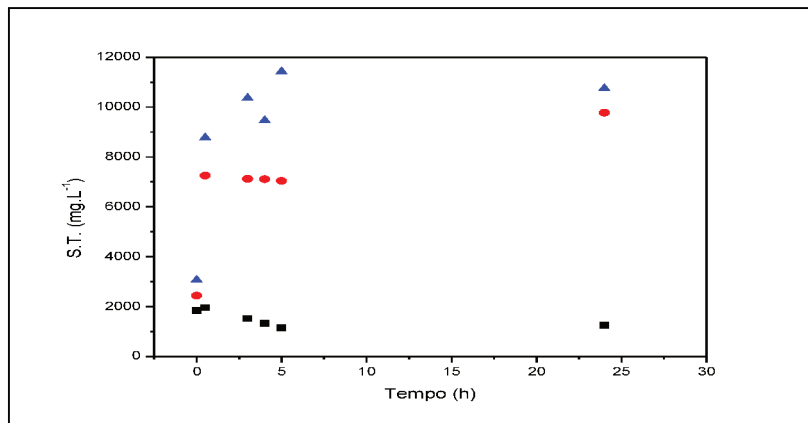
Os gráficos de dispersão da figura 4.23 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



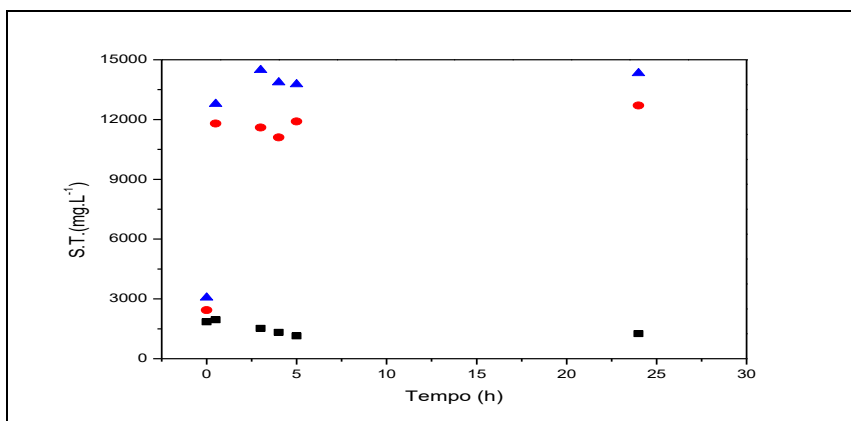
(a)



(a.1)



(b)



(c)

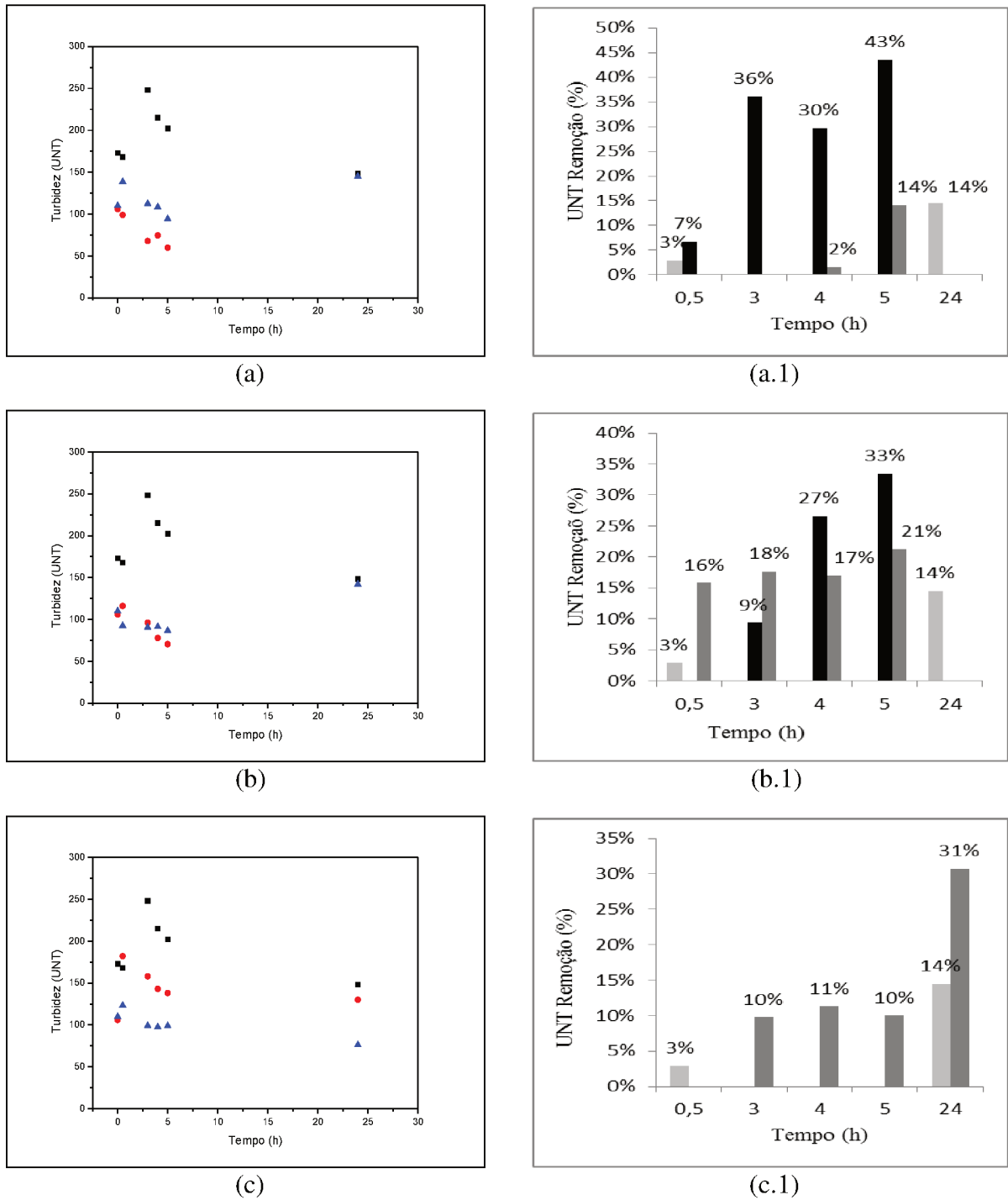
**Figura 4.23.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).  
(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

Na Figura 4.23, a concentração de  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$  foi a única que apresentou uma baixa remoção de impurezas nos valores de sólidos totais com coagulação com cloreto férrico com acréscimo de ácido ascórbico sem controle de pH, as demais apresentaram remoção apenas no experimento utilizando com coagulação com cloreto férrico.

### Ácido Ascórbico – Cloreto Férrico

Os gráficos de dispersão da figura 4.24 representam os valores de turbidez (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de turbidez (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



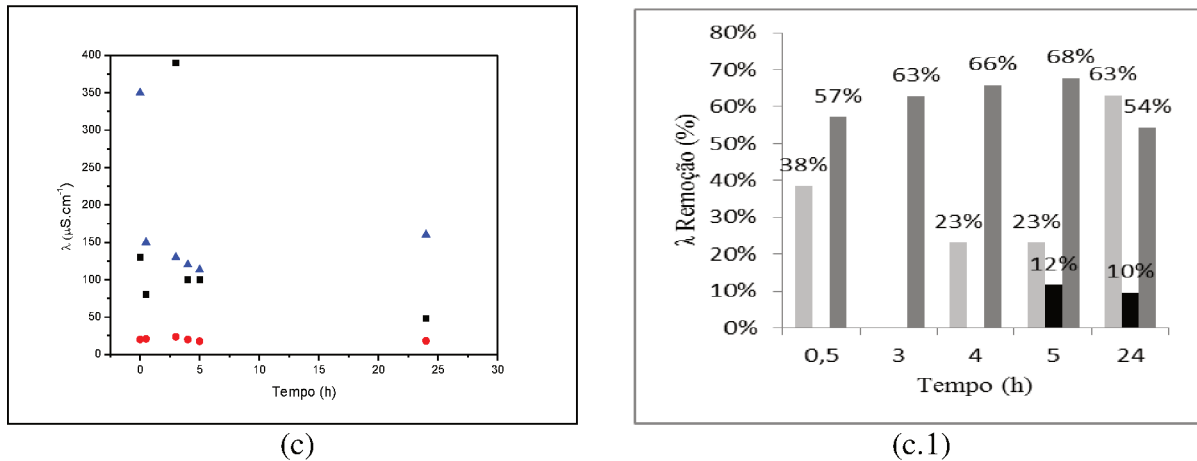
**Figura 4.24.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

( ■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).







**Figura 4.25.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

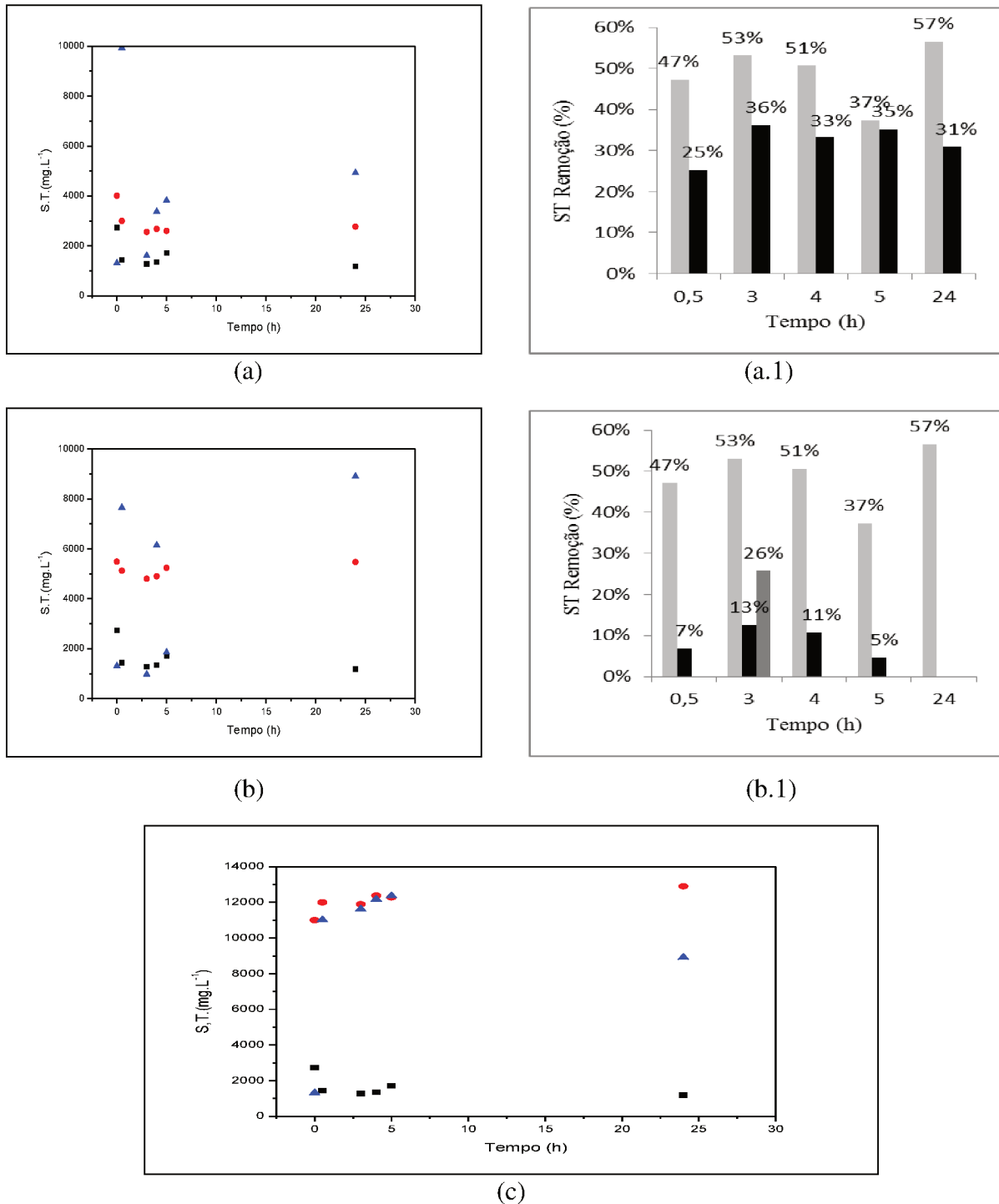
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

Os resultados da Figura 4.25, apresentam maior percentagem de remoção com a coagulação com sulfato de ferro e amônio e acréscimo do ácido ascórbico com controle de pH, com maiores resultados no tempo de 5 horas para todas as concentrações de ácido ascórbico. O tempo de decantação tem maior relevância do que a concentração do ácido ascórbico.

### Ácido Ascórbico – Sulfato de Ferro (II) e Amônio

Os gráficos de dispersão da Figura 4.26 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



**Figura 4.26.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

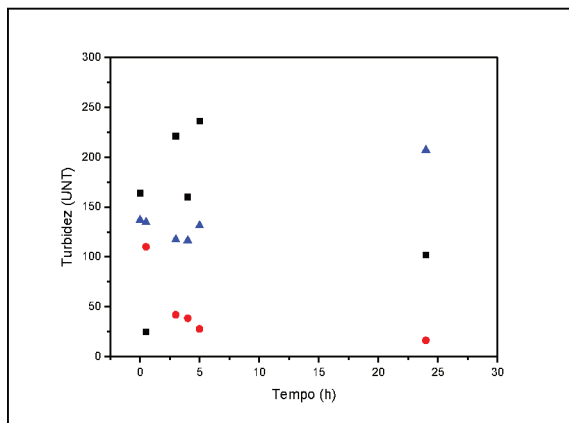
( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

( ■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH ).

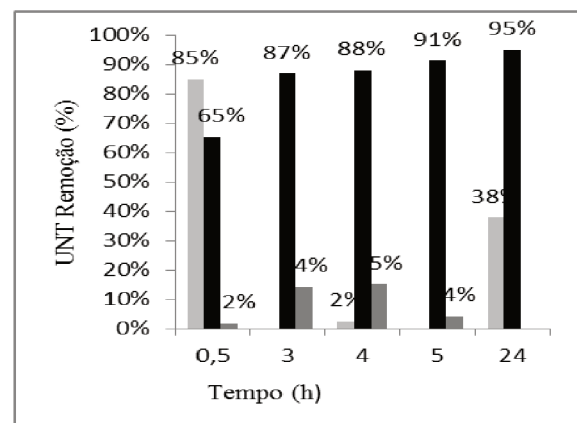
Na Figura 4.26, a maior remoção ocorreu com coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio, de 57%, nas três concentrações de ácido ascórbico e com resultados similares com o decorrer do tempo de decantação.

### Ácido Ascórbico – Sulfato de Ferro (II) e Amônio

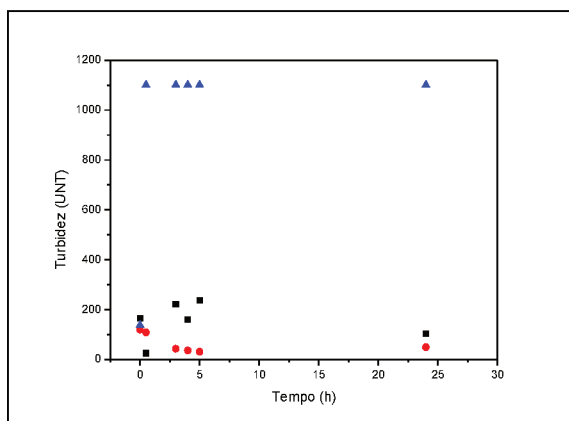
Os gráficos de dispersão da figura 4.27 representam os valores de turbidez (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de turbidez (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



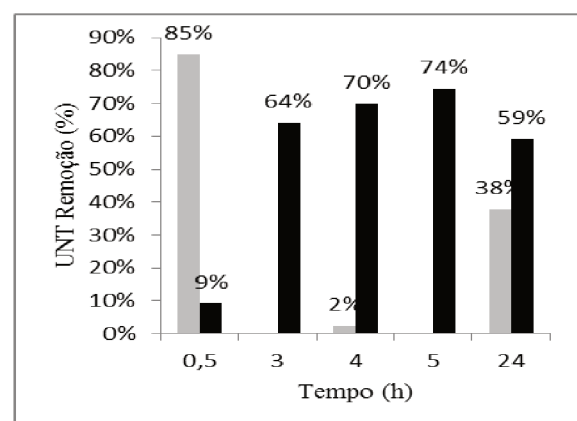
(a)



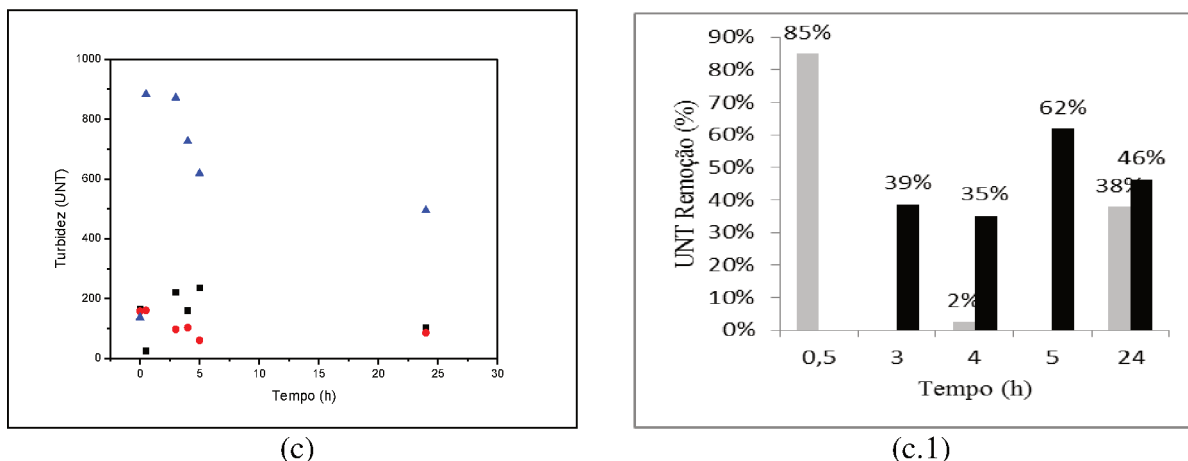
(a.1)



(b)



(b.1)



**Figura 4.27.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

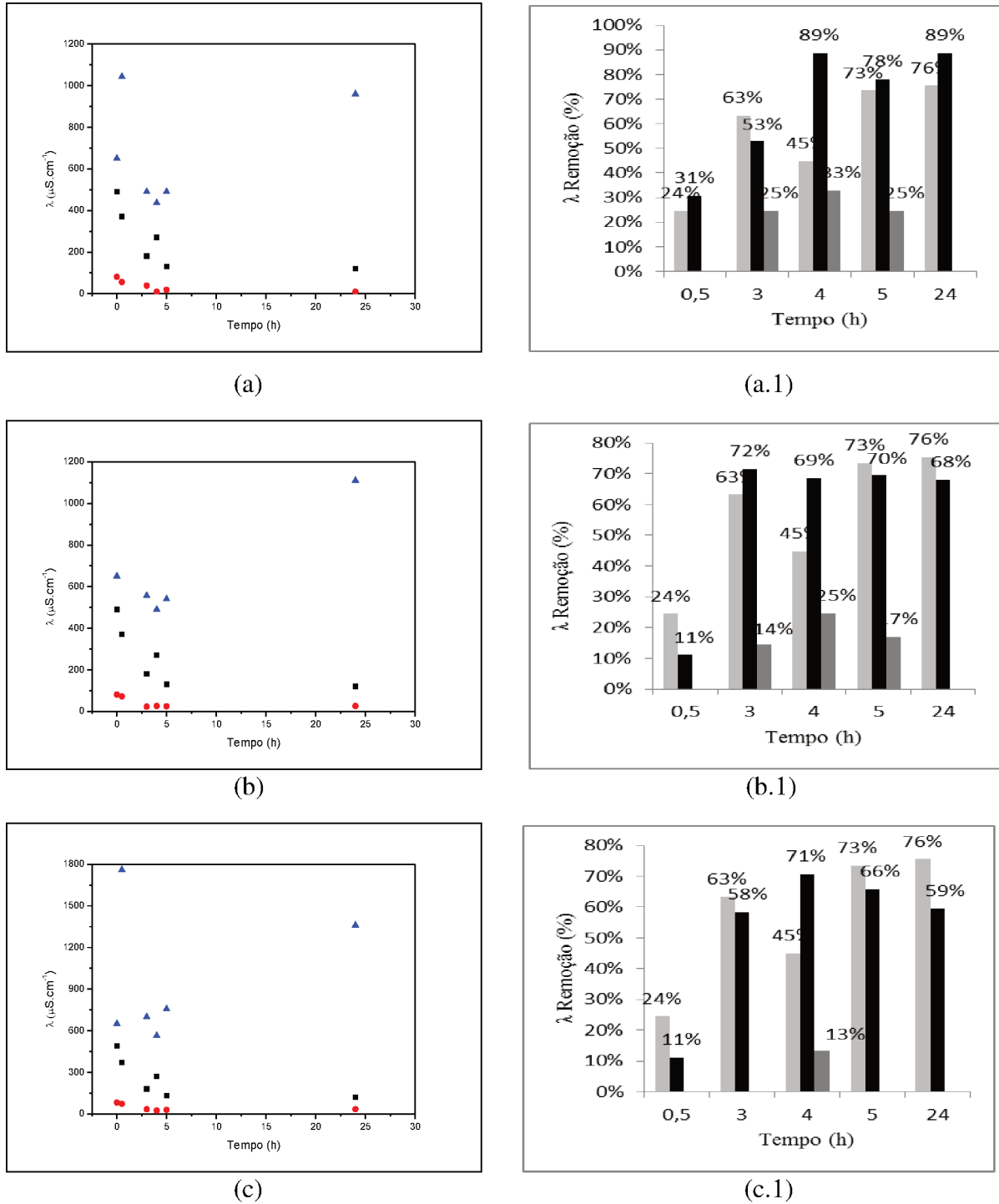
(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

A Figura 4.27 apresenta resultados de remoção para os três experimentos: coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio, coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio e acréscimo do ácido ascórbico sem controle de pH e coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio e acréscimo do ácido ascórbico com controle de pH, mas o resultado mais satisfatório foi com coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio e acréscimo do ácido ascórbico sem controle de pH, chegando a 95% de remoção na concentração de  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$  do ácido ascórbico e tempo de 24 horas. Neste experimento o tempo de decantação e de concentração do ácido ascórbico têm importância.

## Ácido Tricloroacético

### Ácido Tricloroacético – Sulfato de Alumínio

Os gráficos de dispersão da Figura 4.28 representam os valores de condutividade (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de alumínio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido tricloroacético nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



**Figura 4.28.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

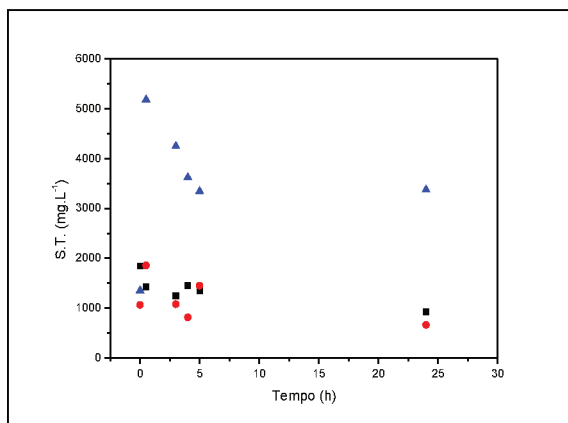
(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

A remoção de condutividade ocorre para os três experimentos, na Figura 4.28, mas com maior remoção de impurezas baseado nos dados condutividade com o experimento de coagulação com sulfato de alumínio com acréscimo do ácido tricloroacético sem controle de pH. Os resultados de remoção são similares para as concentrações do ácido tricloroacético, a concentração de 11,90 g.L<sup>-1</sup> do ácido tricloroacético é a que apresenta menores valores de remoção. O tempo de decantação influi nos valores de remoção.

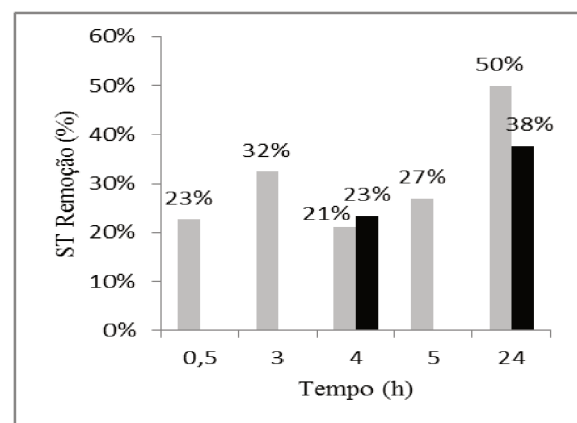
## Ácido Tricloroacético

### Ácido Tricloroacético – Sulfato de Alumínio

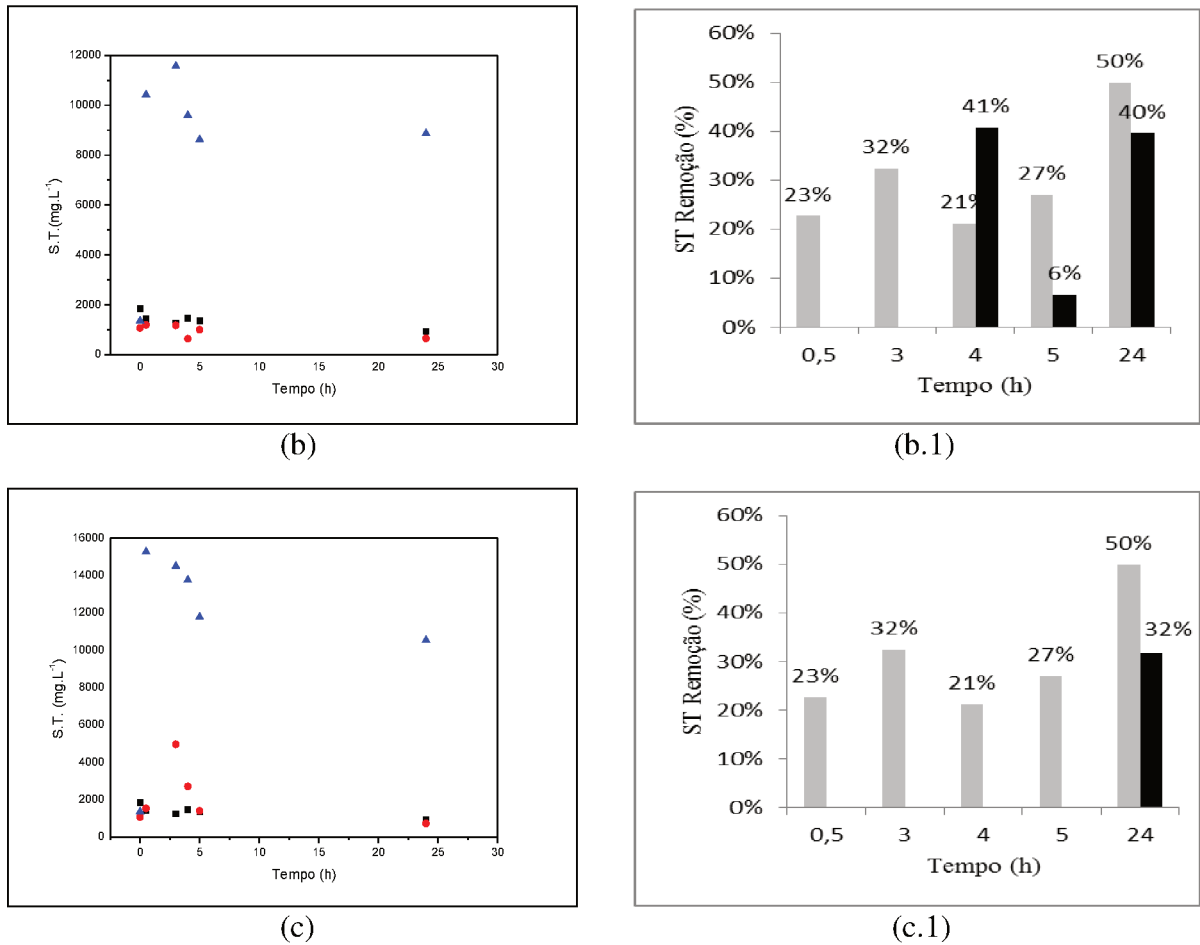
Os gráficos de dispersão da figura 4.29 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de alumínio na concentração de 0,095 g.L<sup>-1</sup> e o ácido tricloroacético nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L<sup>-1</sup>; (b, b.1) 7,14 g.L<sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L<sup>-1</sup>.



(a)



(a.1)



**Figura 4.29.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

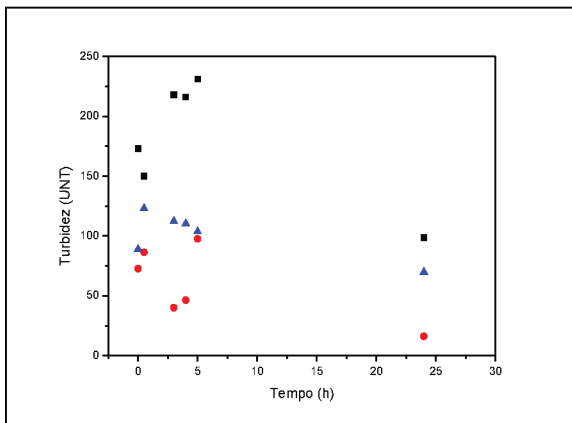
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

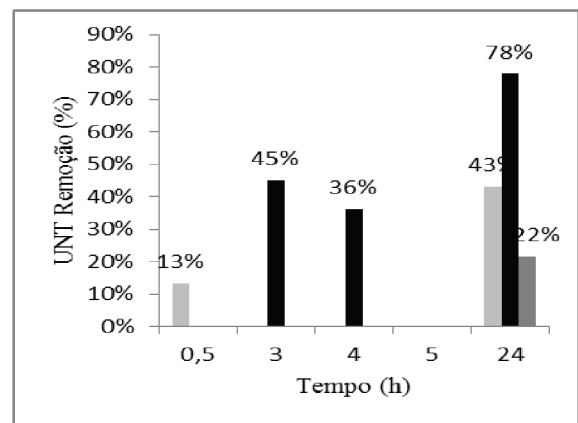
A Figura 4.29, demonstra que ocorre maior remoção de impurezas dos valores de sólidos totais com a coagulação com sulfato de alumínio, redução de 50%, no tempo de decantação de 24 horas. O tempo de decantação e a concentração do ácido tricloroacético têm relevância para a remoção.

### Ácido Tricloroacético – Sulfato de Alumínio

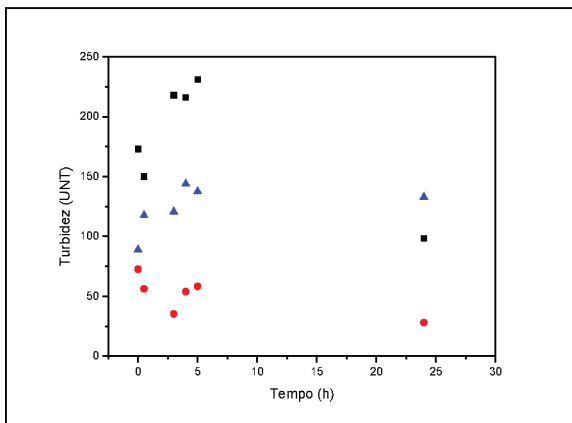
Os gráficos de dispersão da figura 4.30 representam os valores de turbidez (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de turbidez (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de alumínio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido tricloroacético nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



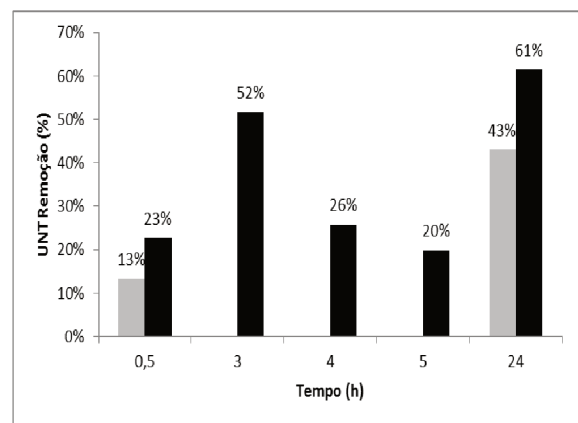
(a)



(a.1)

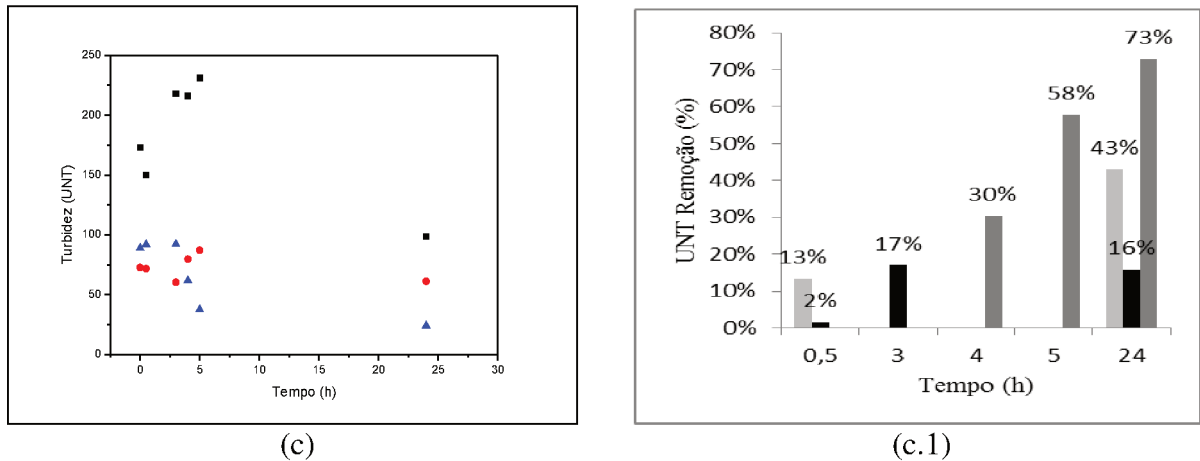


(b)



(b.1)





**Figura 4.30.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

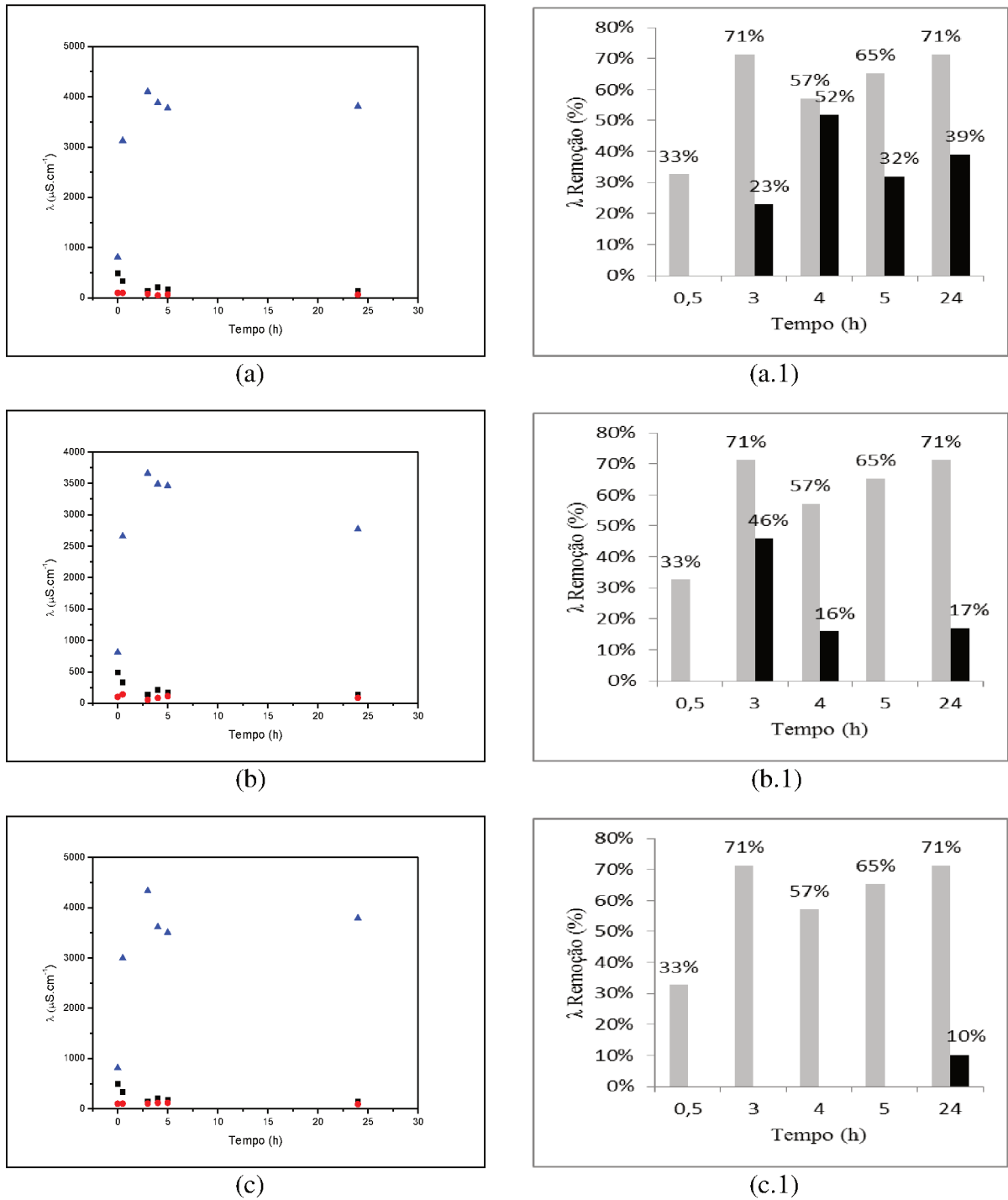
( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

( ■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

Na Figura 4.30, ocorreu maior remoção de dados baseados em valores de turbidez para as concentrações de  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$  e  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  do ácido tricloroacético no experimento com coagulação com sulfato de alumínio e acréscimo do ácido tricloroacético sem controle de pH e maior remoção na concentração de  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$  do ácido tricloroacético com o experimento com coagulação com sulfato de alumínio e acréscimo do ácido tricloroacético com controle de pH. O tempo de decantação e a concentração do ácido tricloroacético influem no sistema.

### Ácido Tricloroacético – Cloreto Férrico

Os gráficos de dispersão da figura 4.31 representam os valores de condutividade (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido tricloroacético nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



**Figura 4.31.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L<sup>-1</sup>; (b, b.1) 7,14 g.L<sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L<sup>-1</sup>

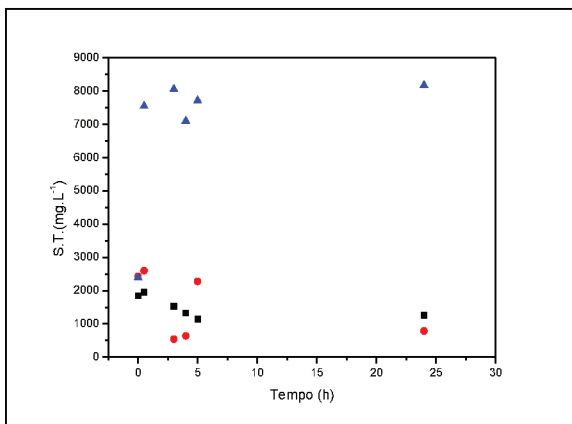
( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

( ■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

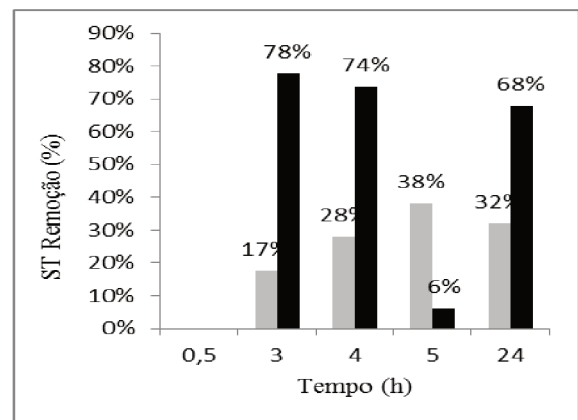
A Figura 4.31 apresenta remoção de impurezas dos dados baseados na condutividade com maiores valores de percentagem de remoção na coagulação com cloreto férrico, com valor máximo de 71% de remoção, explicitando similaridade entre as concentrações do ácido tricloroacético e os tempos de decantação.

### Ácido Tricloroacético – Cloreto Férrico

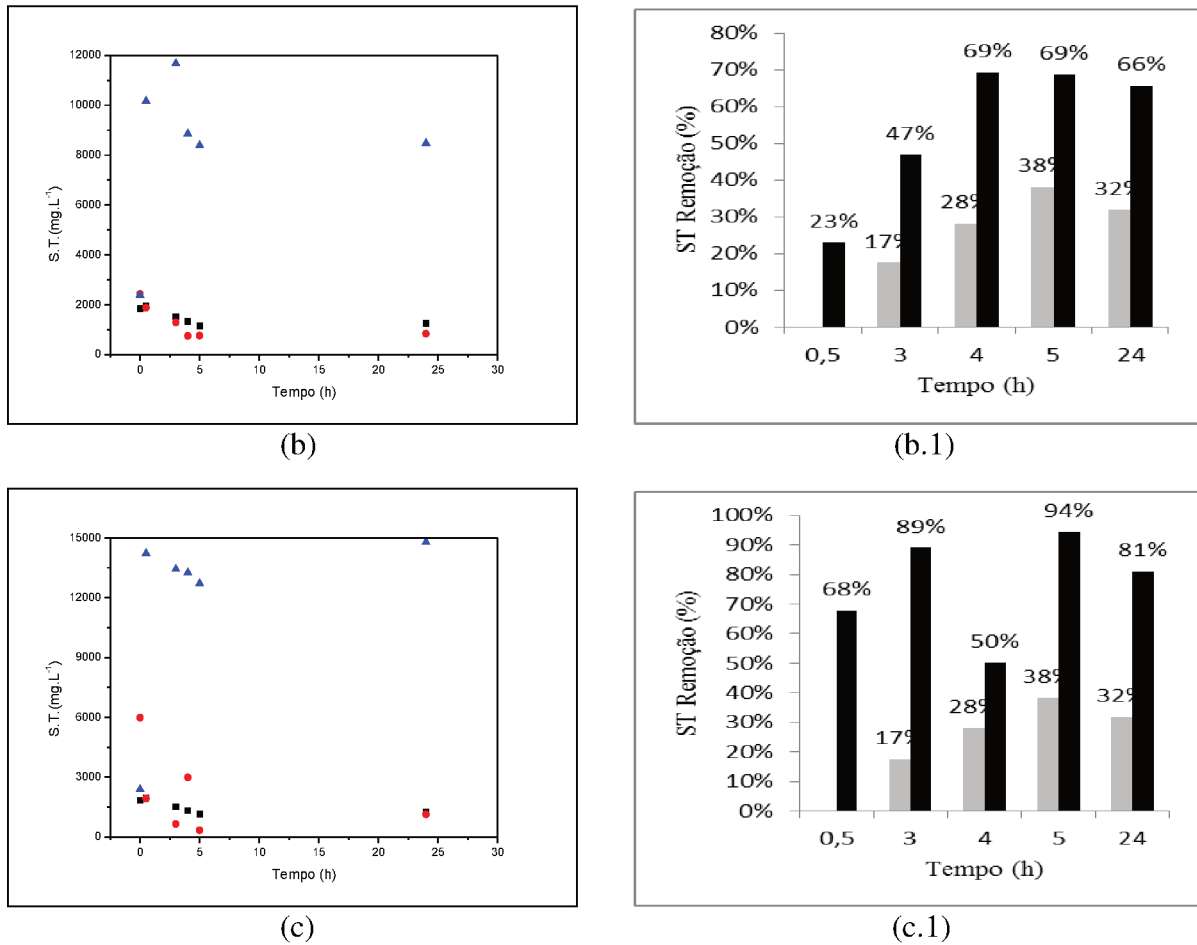
Os gráficos de dispersão da figura 4.32 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido tricloroacético nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



(a)



(a.1)



**Figura 4.32.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações(a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

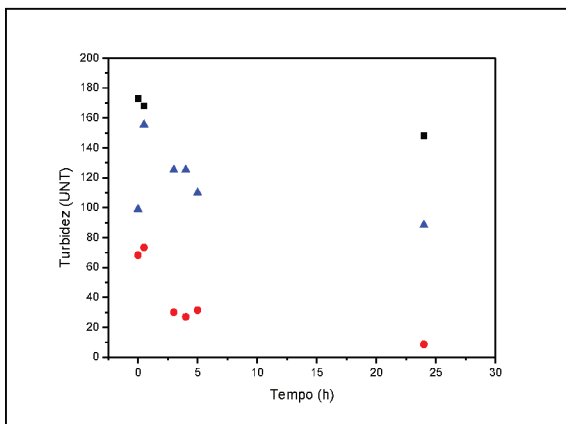
( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

( ■ Coagulante ; ● Coagulante + Ácido).

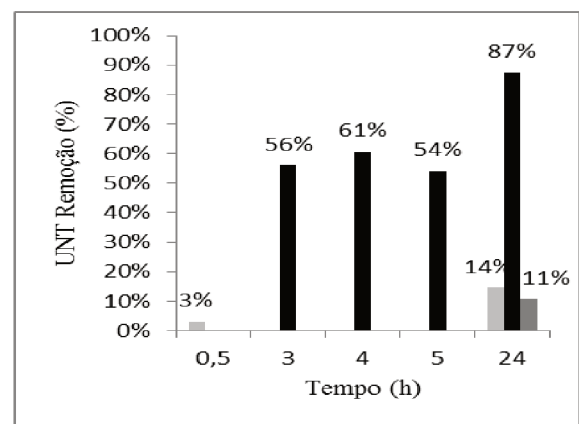
Na Figura 4.32, a remoção de impurezas é mais eficiente com a coagulação com cloreto férrico e acréscimo do ácido tricloroacético sem controle de pH para todas as concentrações do ácido tricloroacético, mas com valores maiores de remoção na concentração de  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ . O tempo de decantação e a concentração do ácido tricloroacético influenciam o sistema.

## Ácido Tricloroacético – Cloreto Férrico

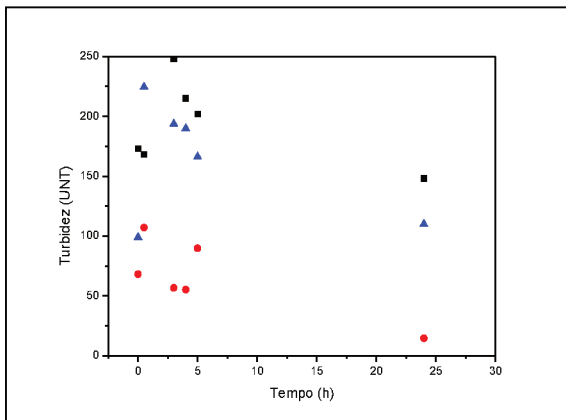
Os gráficos de dispersão da figura 4.33 representam os valores de turbidez (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de turbidez (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido tricloroacético nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



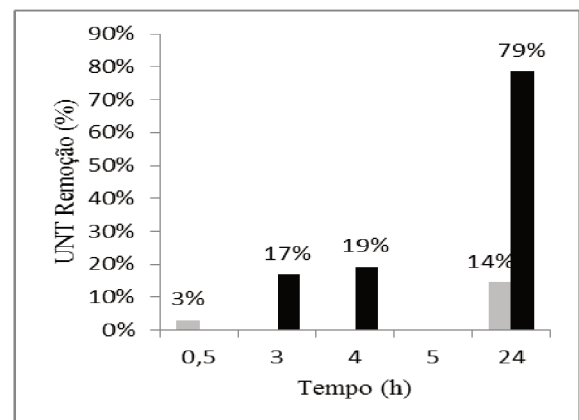
(a)



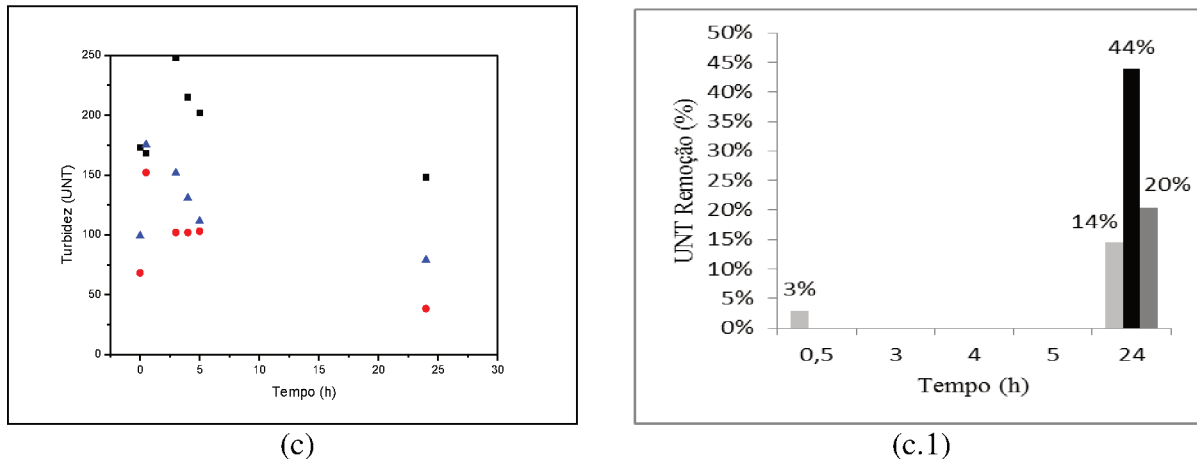
(a.1)



(b)



(b.1)



**Figura 4.33.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

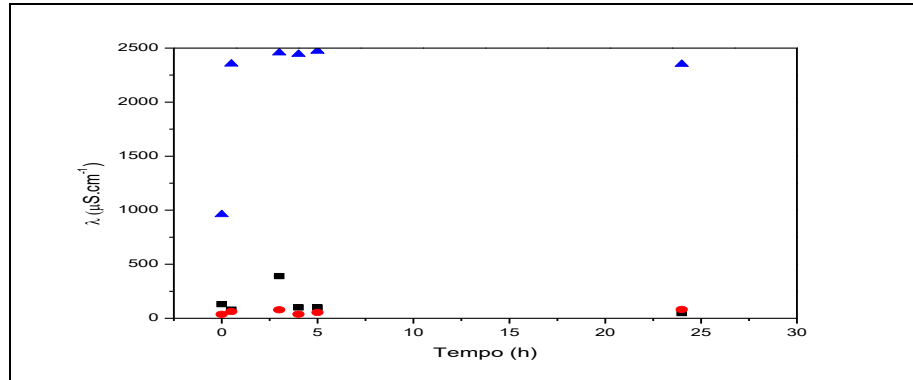
( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

( ■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

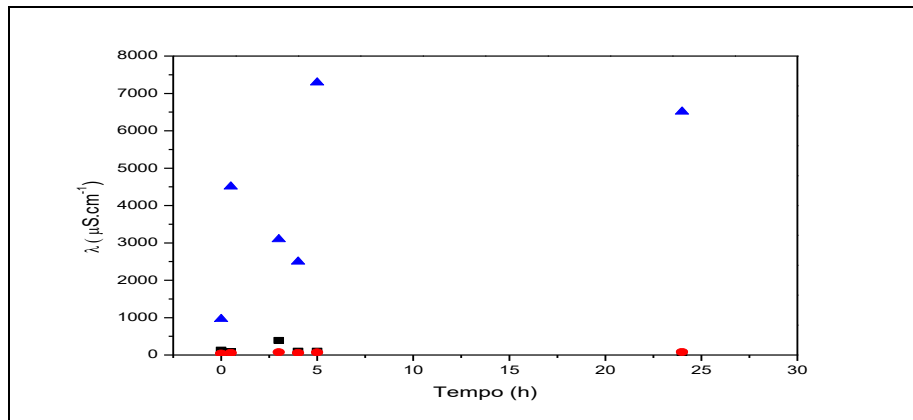
A Figura 4.32, apresenta resultados não tão satisfatórios de remoção em relação ao tempo de decantação, com exceção para o tempo de 24 horas, onde a maior remoção de impurezas baseados nos dados de turbidez é com o sistema de coagulação com cloreto férrico com acréscimo de ácido tricloroacético sem controle de pH. Observa-se que o tempo de decantação e a concentração do ácido tricloroacético influem na remoção de impurezas do sistema.

### Ácido Tricloroacético – Sulfato de Ferro (II) e Amônio

Os gráficos de dispersão da figura 4.34 representam os valores de condutividade (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido tricloroacético nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



(a)



(c)

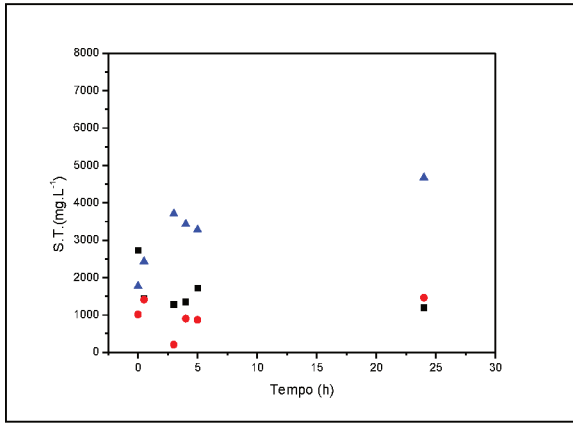
**Figura 4.34.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$  (■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

A Figura 4.34 explicita que houve remoção apenas para o sistema de coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio e que os valores de condutividade para os outros sistemas aumentaram muito do valor inicial.

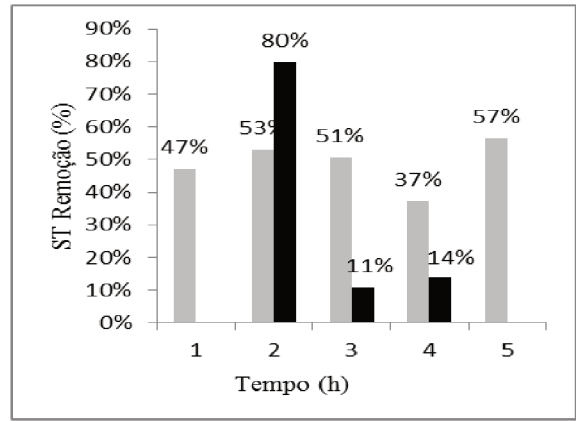
### Ácido Tricloroacético – Sulfato de Ferro (II) e Amônio

Os gráficos de dispersão da figura 4.35 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1)

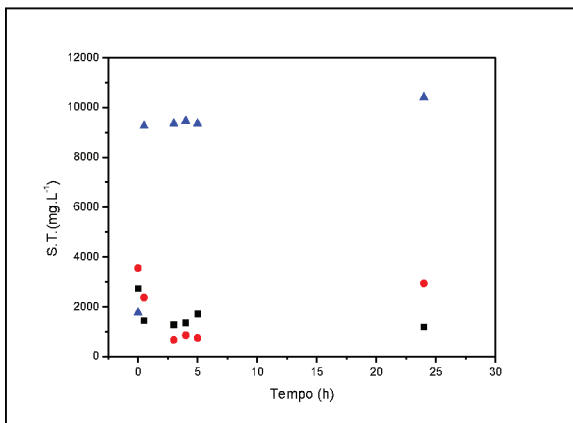
com o tempo, utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio na concentração de 0,095 g.L<sup>-1</sup> e o ácido tricloroacético nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L<sup>-1</sup>; (b, b.1) 7,14 g.L<sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L<sup>-1</sup>.



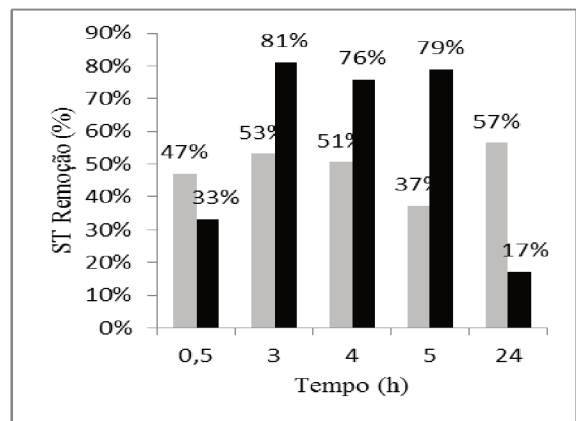
(a)



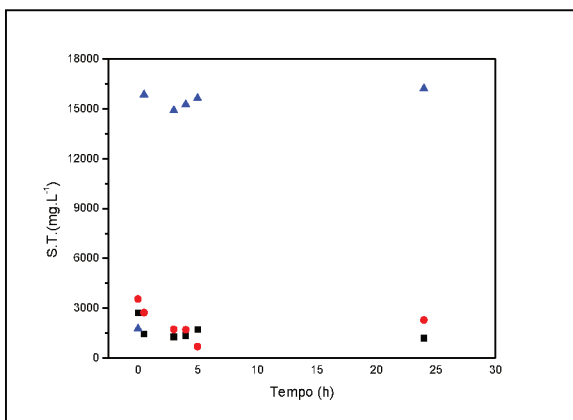
(a.1)



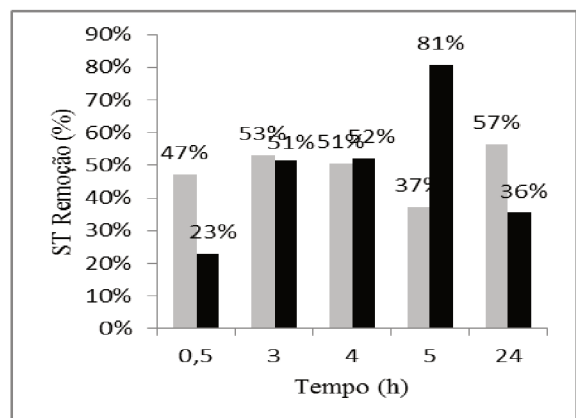
(b)



(b.1)



(c)



(c.1)



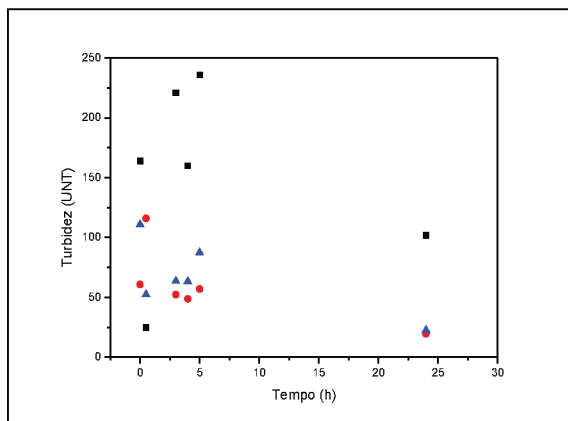
**Figura 4.35.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).  
( ■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

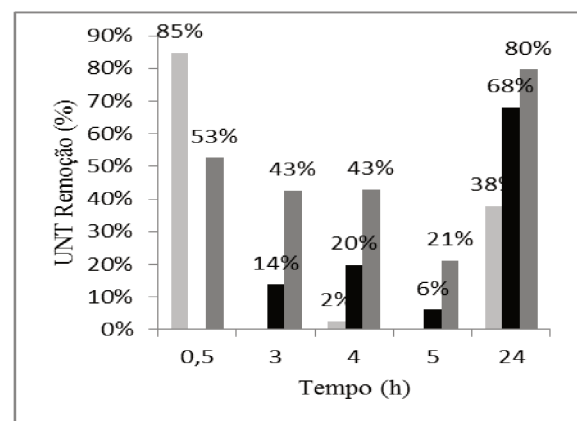
A Figura 4.35, mostra que ocorreu maior remoção de impurezas no sistema de coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio e acréscimo do ácido tricloroacético sem controle de pH, em todos os sistemas estudados. A concentração do ácido tricloroacético e a decantação da solução com o tempo são efetivas para remoção de impurezas de sólidos totais no sistema.

### Ácido Tricloroacético – Sulfato de Ferro (II) e Amônio

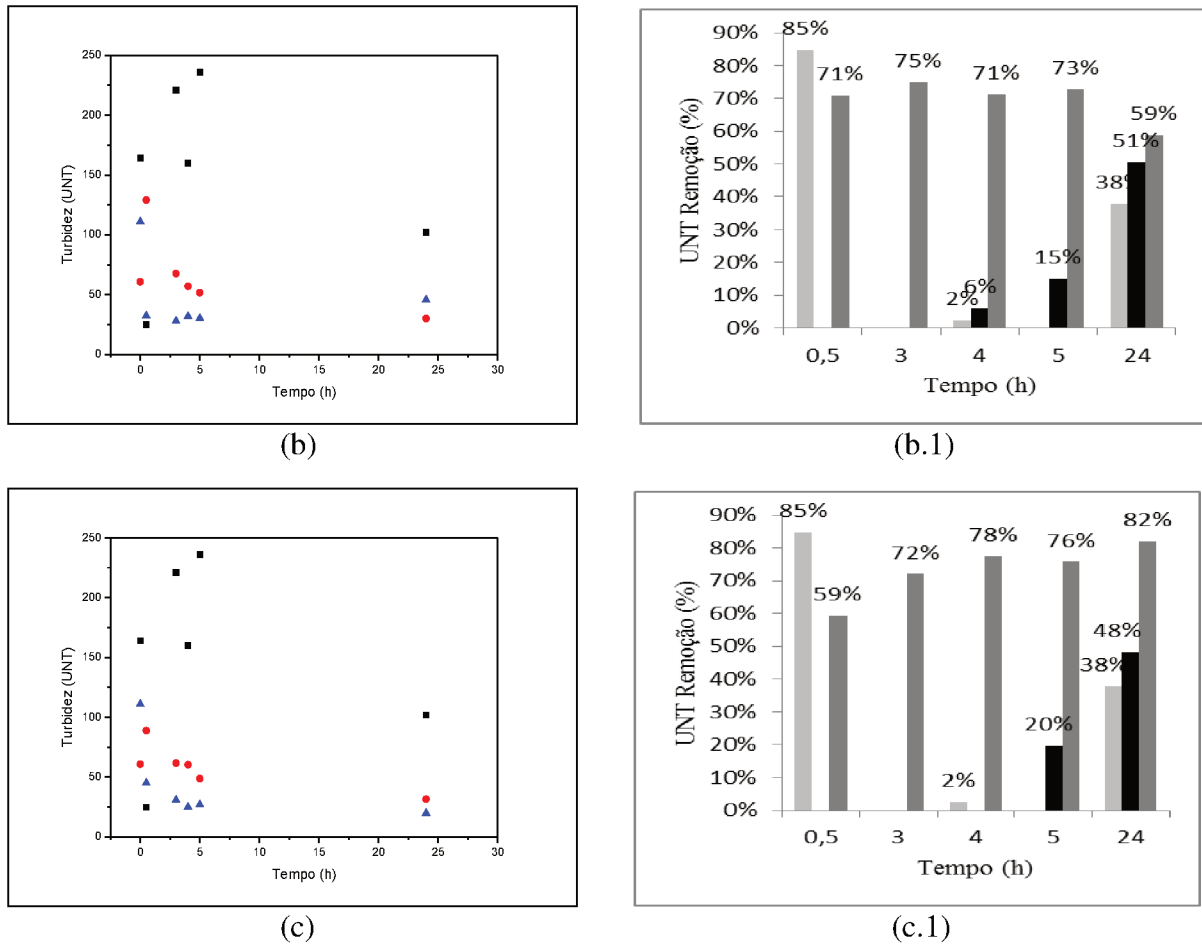
Os gráficos de dispersão da figura 4.36 representam os valores de turbidez (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de turbidez (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido tricloroacético nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



(a)



(a.1)



**Figura 4.36.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Tricloroacético nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

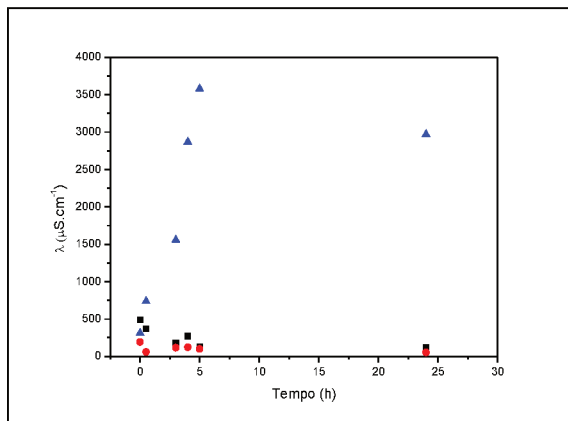
( ■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

Na Figura 4.36 o ponto de remoção de 0,5 hora de similaridade em todos os gráficos, onde apresenta remoção de 85%, no ponto de coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio, já no restante dos tempos de decantação o experimento mais satisfatório foi o com coagulação com sulfato de ferro (II) e amônio e acréscimo de ácido tricloroacético com controle de pH. As diferentes concentrações de ácido tricloroacético influenciam na remoção de impurezas do sistema.

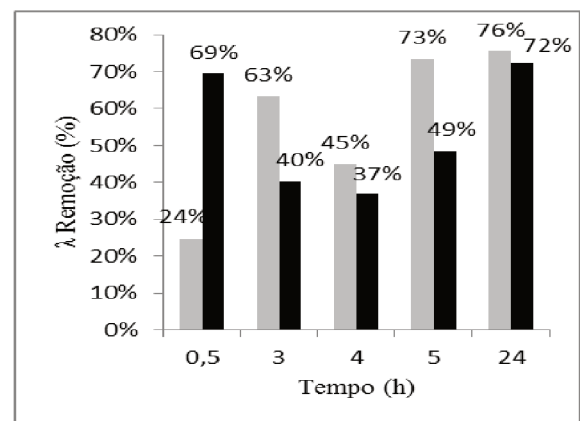
## Ácido Oxálico

### Ácido Oxálico - Sulfato de Alumínio

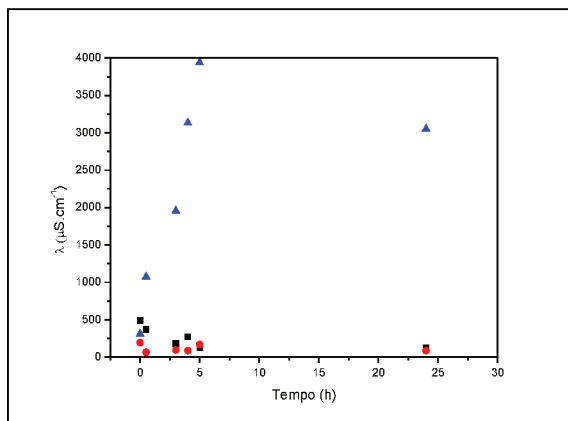
Os gráficos de dispersão da Figura 4.37 representam os valores de condutividade (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de alumínio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



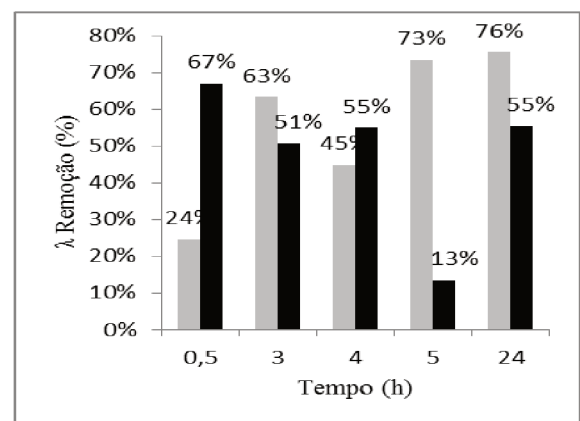
(a)



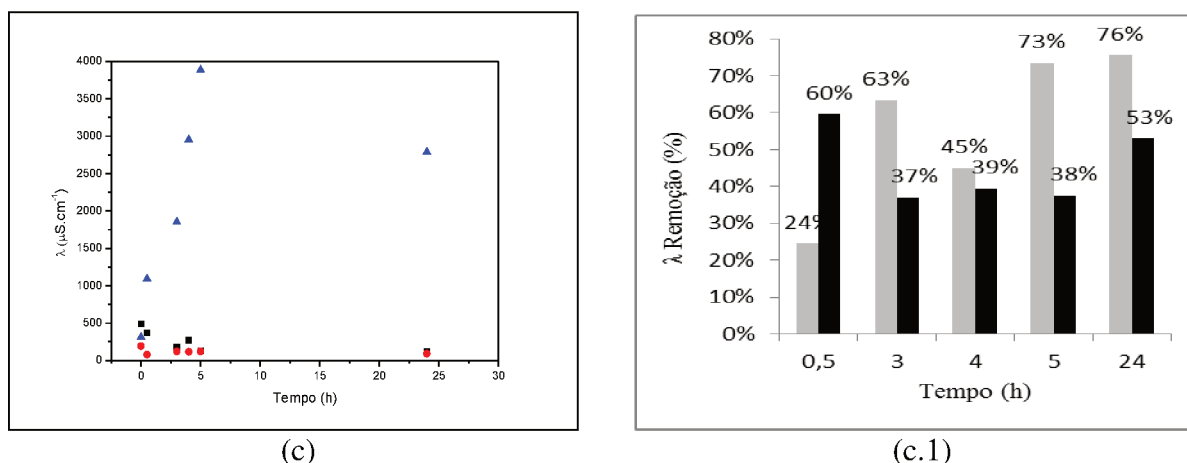
(a.1)



(b)



(b.1)



**Figura 4.37.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

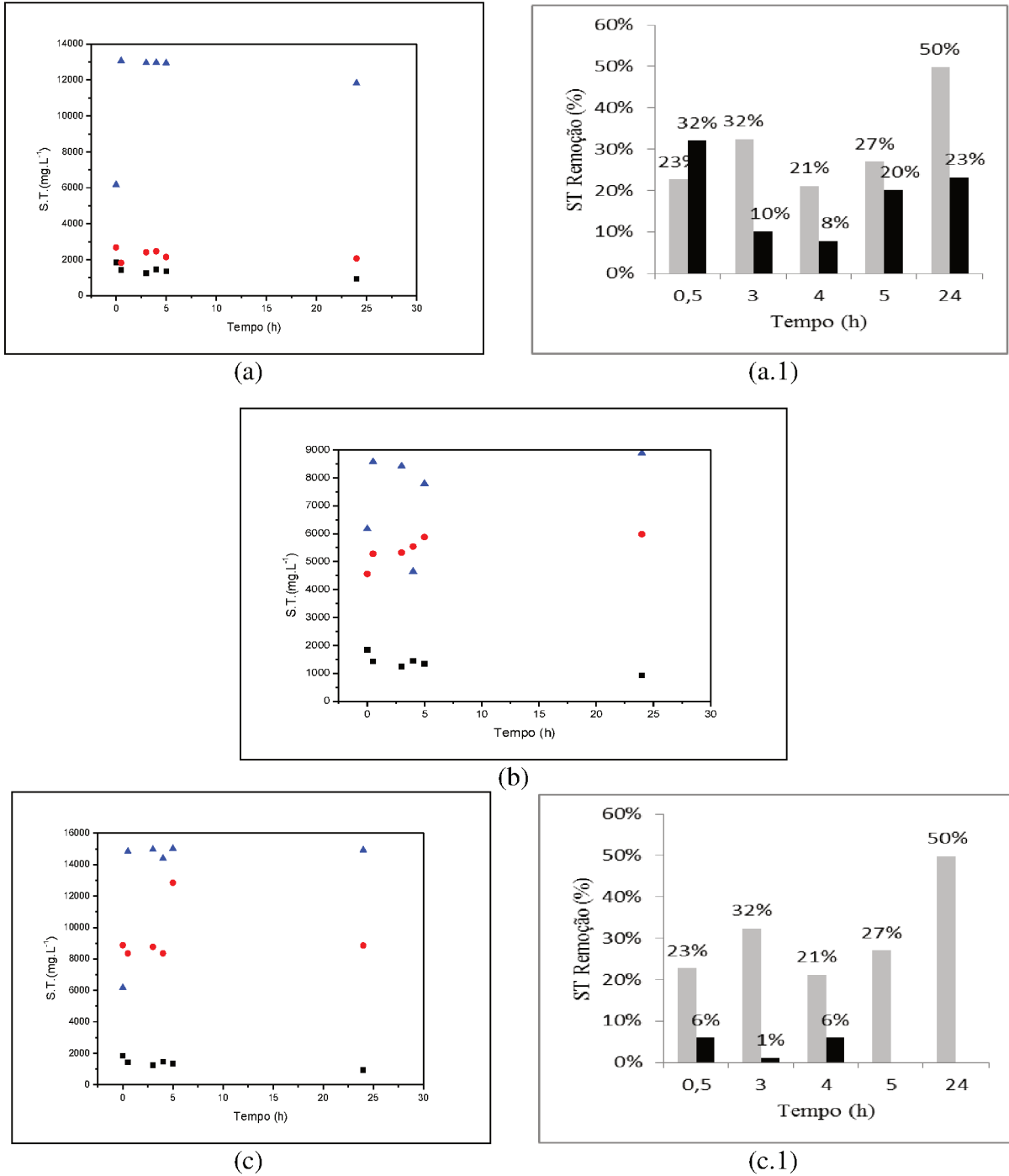
(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

Na Figura 4.37 ocorre maior remoção de impurezas no sistema que contém apenas coagulação com sulfato de alumínio, apresentando valor máximo de 76%. Os gráficos mostram resultados semelhantes nos aspectos tempo de decantação e concentração do ácido oxálico.

### Ácido Oxálico - Sulfato de Alumínio

Os gráficos de dispersão da figura 4.38 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de alumínio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .

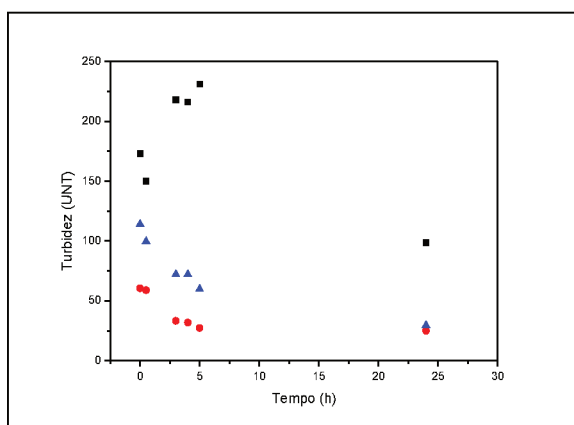


**Figura 4.38.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$   
 (■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).  
 (■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

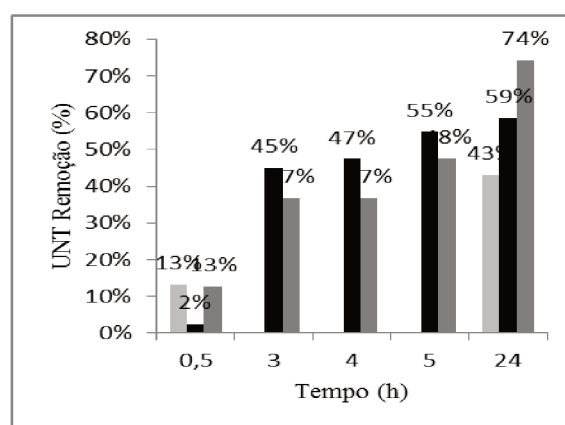
Os resultados da Figura 4.38, que a maior remoção de impurezas ocorreu no sistema com coagulação com sulfato de alumínio, no tempo de 24 horas com valor máximo de 50%. O tempo de decantação do sistema influencia os resultados de remoção, já os resultados com a concentração de ácido oxálico exibem maior paridade.

### Ácido Oxálico - Sulfato de Alumínio

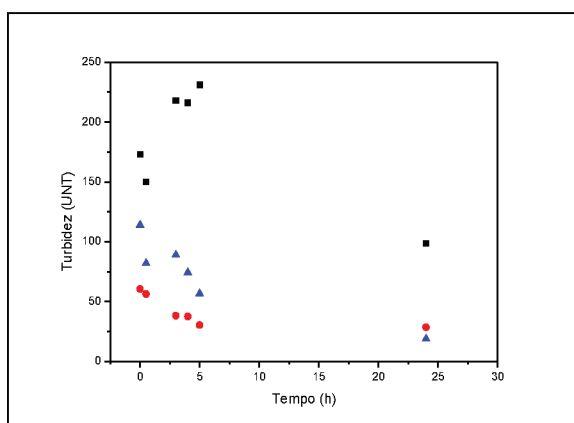
Os gráficos de dispersão da figura 4.39 representam os valores de turbidez (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de turbidez (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de alumínio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



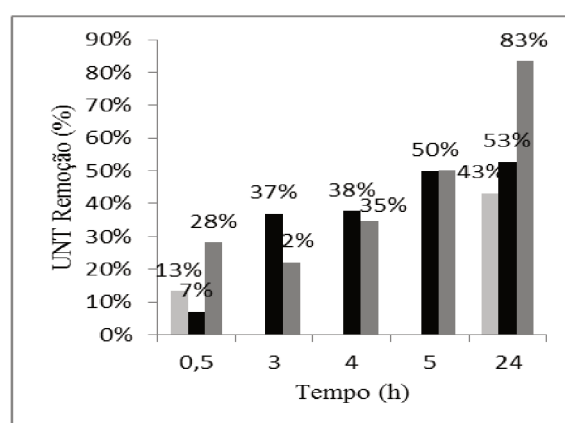
(a)



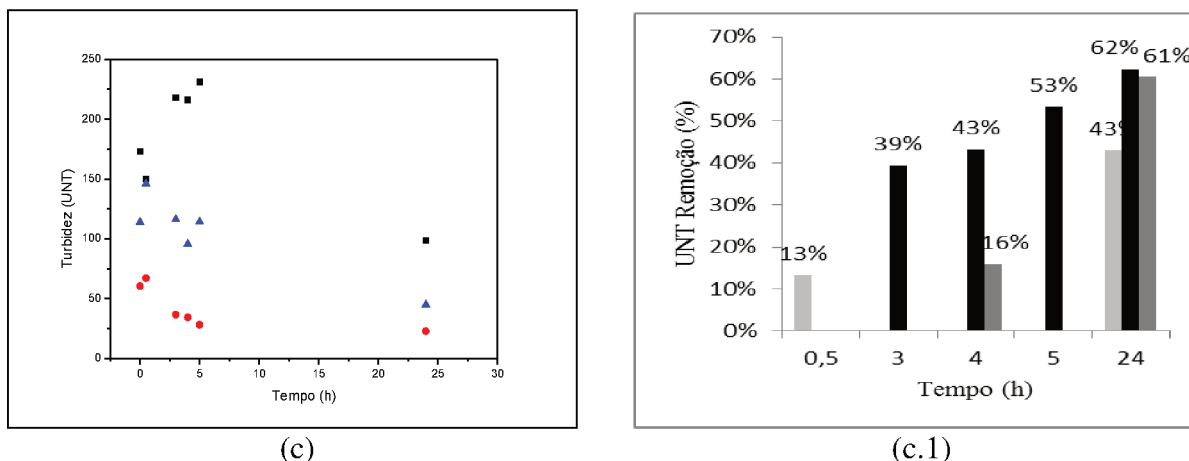
(a.1)



(b)



(b.1)



**Figura 4.39.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

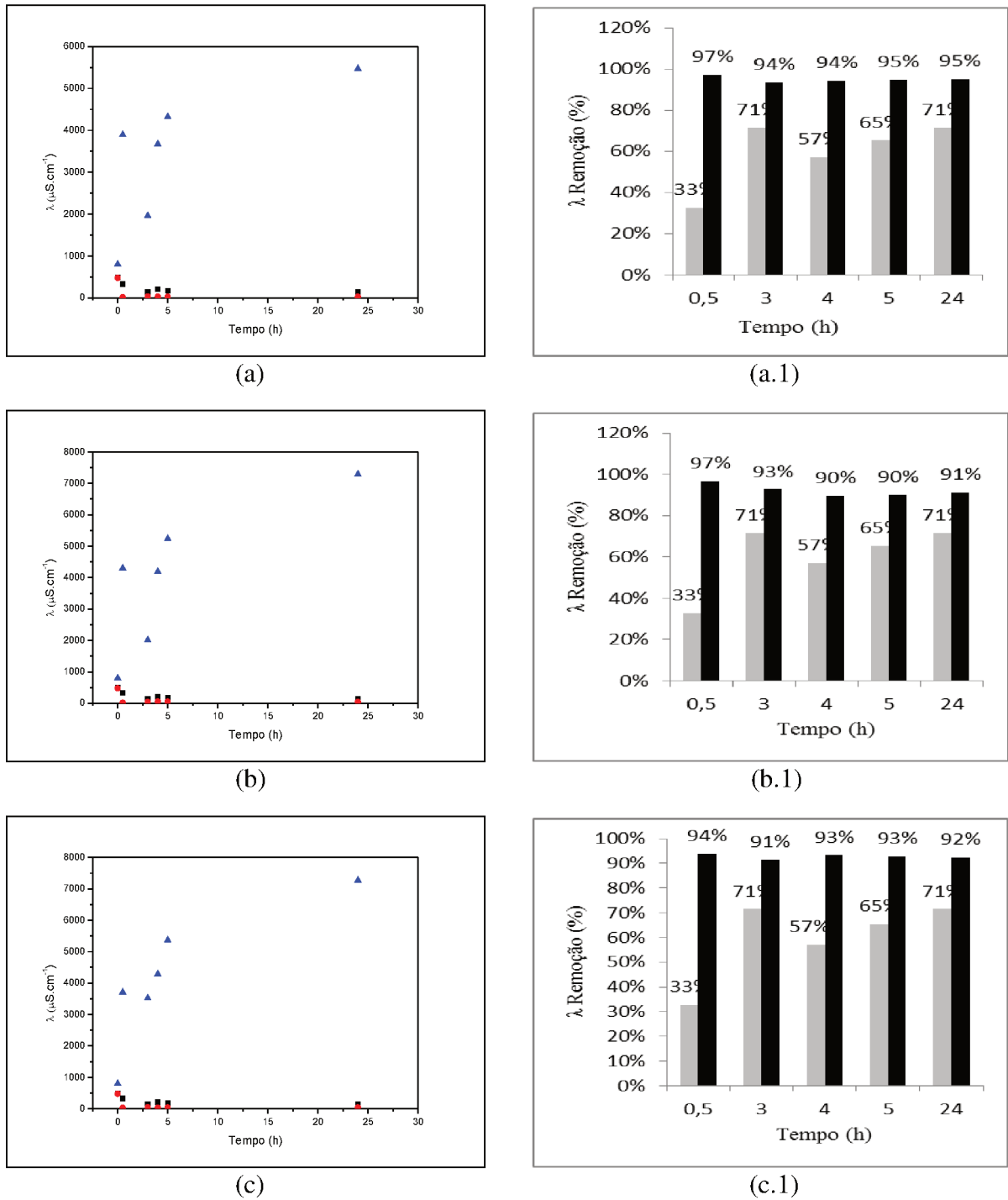
( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

( ■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

A maior remoção de impurezas com base nos dados de turbidez, na Figura 4.39, mostra valores de remoção semelhantes no experimento com coagulação com sulfato de alumínio e acréscimo do ácido oxálico com controle de pH. A decantação em função do tempo e a concentração do ácido oxálico são fatores relevantes na remoção de impurezas.

### Ácido Oxálico – Cloreto Férrico

Os gráficos de dispersão da figura 4.40 representam os valores de condutividade (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



**Figura 4.40.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

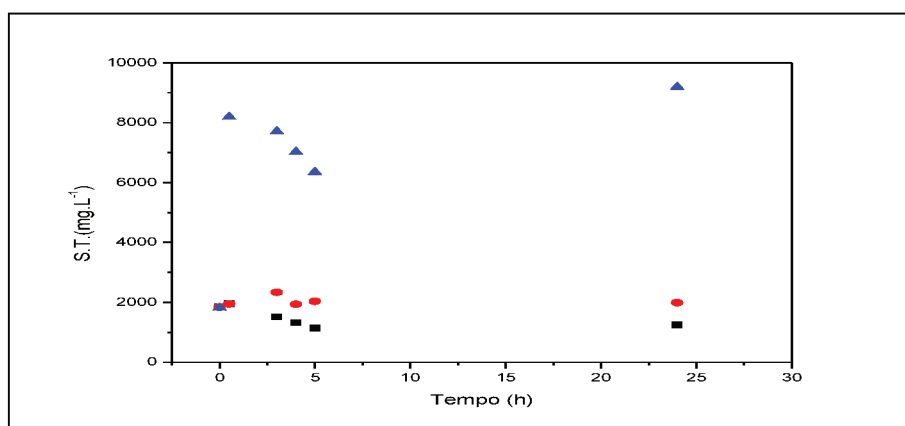
(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).



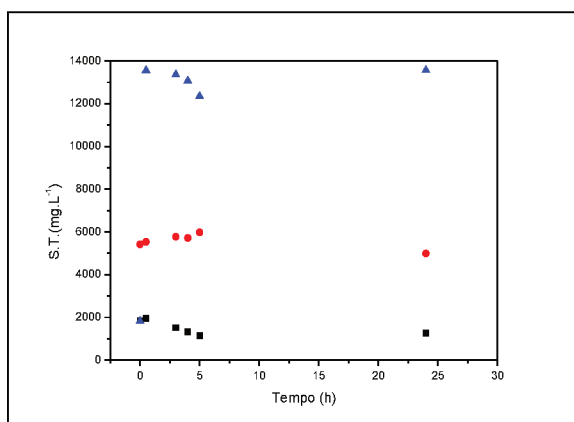
A Figura 4.40 apresenta resultados satisfatórios no quesito remoção de impurezas baseadas nos valores de condutividade, principalmente no experimento coagulação com cloreto férrico e acréscimo do ácido oxálico sem controle de pH, com resultados acima de 90% de remoção. O tempo de decantação e a concentração do ácido oxálico obtêm resultados de remoção semelhantes, ou seja, a concentração de  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$  do ácido oxálico e o tempo de 0,5 hora se mostram eficazes.

### Ácido Oxálico – Cloreto Férrico

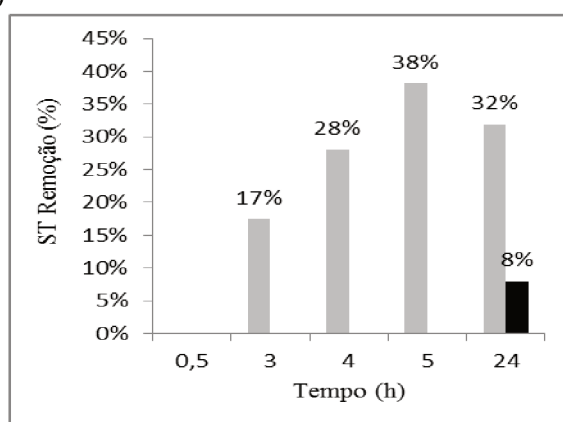
Os gráficos de dispersão da figura 4.41 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



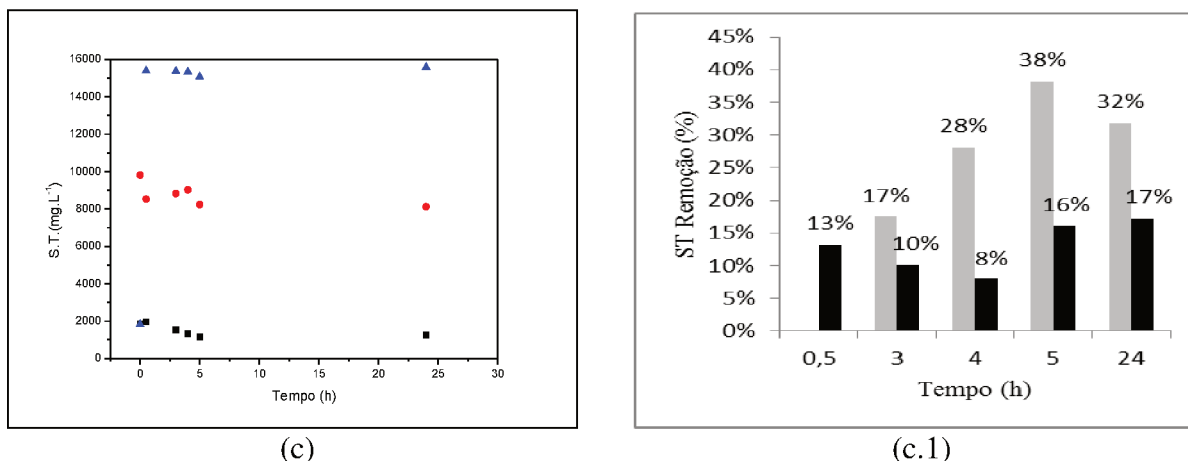
(a)



(b)



(b.1)



**Figura 4.41.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L<sup>-1</sup>; (b, b.1) 7,14 g.L<sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L<sup>-1</sup>

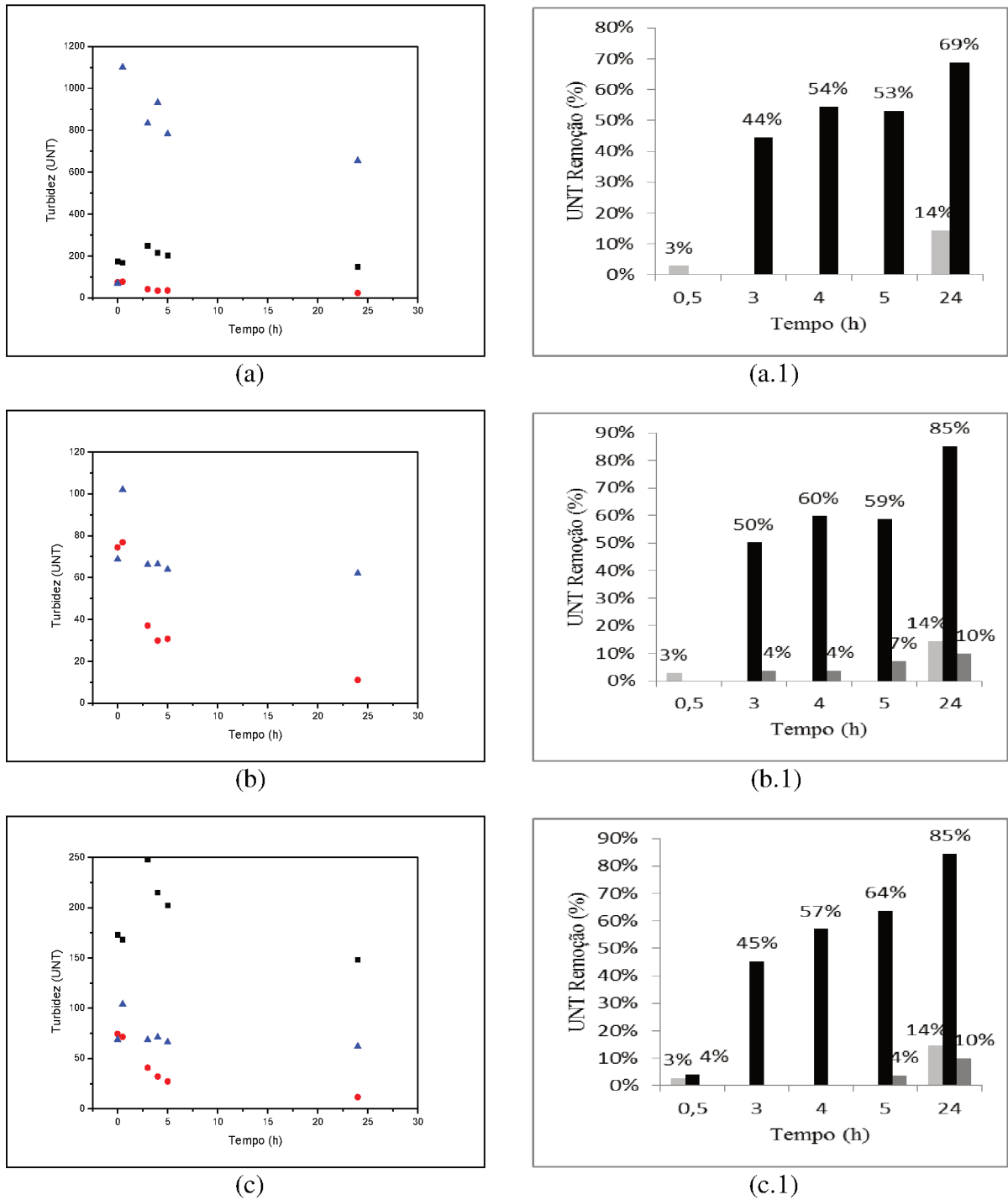
( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

( ■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

A Figura 4.41 exibiu resultados semelhantes de remoção com o experimento utilizando coagulação com cloreto férrico, com valor máximo de 38% de remoção. O tempo de decantação é um fator relevante na remoção de impurezas.

### Ácido Oxálico – Cloreto Férrico

Os gráficos de dispersão da figura 4.42 representam os valores de turbidez (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de turbidez (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o cloreto férrico na concentração de 0,095 g.L<sup>-1</sup> e o ácido oxálico nas concentrações: (a, a.1) 2,38 g.L<sup>-1</sup>; (b, b.1) 7,14 g.L<sup>-1</sup> e (c, c.1) 11,90 g.L<sup>-1</sup>.



**Figura 4.42.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

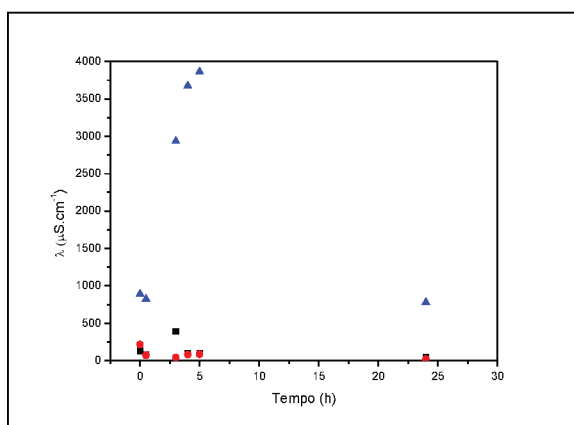
( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

( ■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

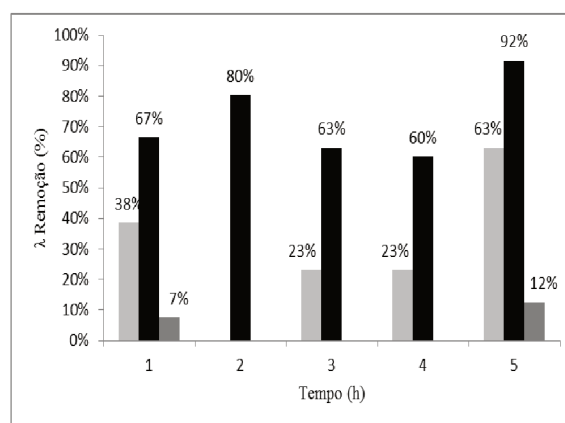
Os resultados da Figura 4.42, denotam que a maior remoção ocorreu no sistema de coagulação com cloreto férrico e acréscimo do ácido oxálico sem controle de pH em todas as concentrações de ácido oxálico, mas nas concentrações  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$  de ácido oxálico houve maior valor de remoção, chegando a 85%.

### Ácido Oxálico – Sulfato de Ferro (II) e Amônio

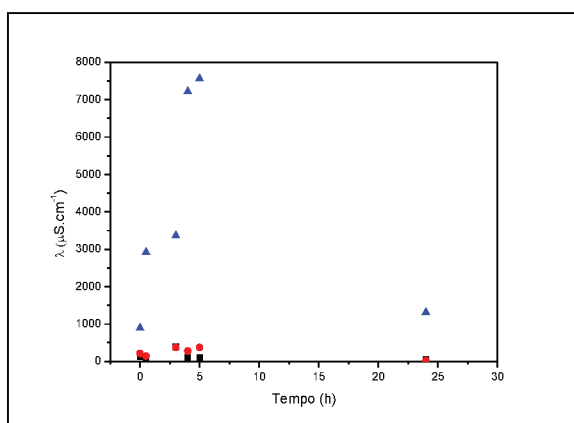
Os gráficos de dispersão da figura 4.43 representam os valores de condutividade (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de condutividade (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



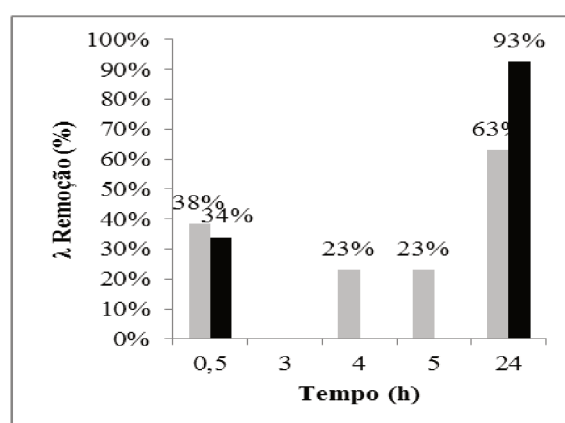
(a)



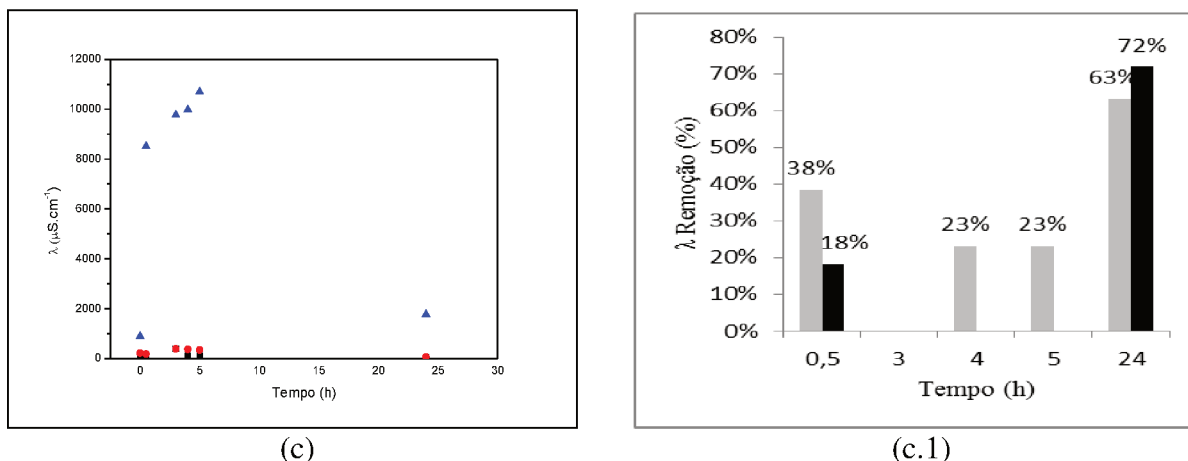
(a.1)



(b)



(b.1)



**Figura 4.43.** Condutividade e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

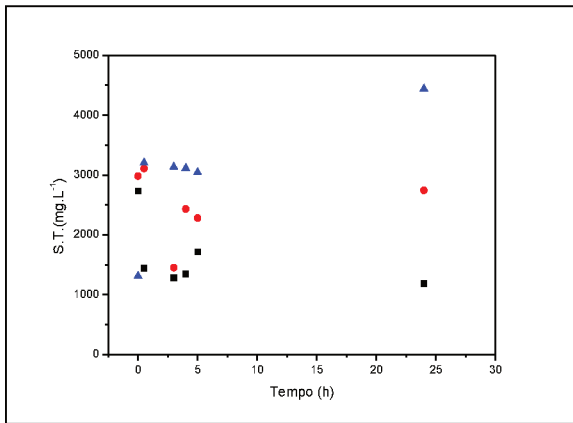
( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

( ■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

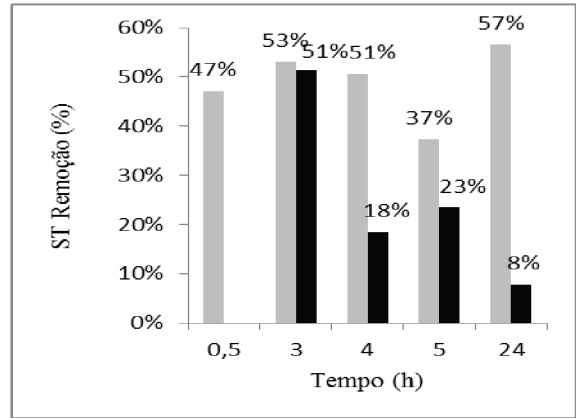
A Figura 4.43 ilustra que houve maior remoção de impurezas com o sistema que contém coagulação com sulfato de ferro (II) e amônia e acréscimo do ácido oxálico, isto nas três concentrações do ácido oxálico, mas o ponto de 24 h é que exibiu maior remoção, em torno de 90%. O tempo de decantação e de concentração do ácido oxálico são efetivos para remoção de impurezas baseadas nos dados de condutividade.

### Ácido Oxálico – Sulfato de Ferro (II) e Amônio

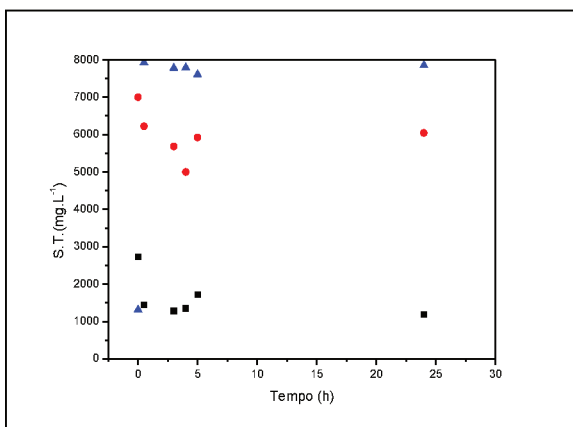
Os gráficos de dispersão da figura 4.44 representam os valores de sólidos totais (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de sólidos totais (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



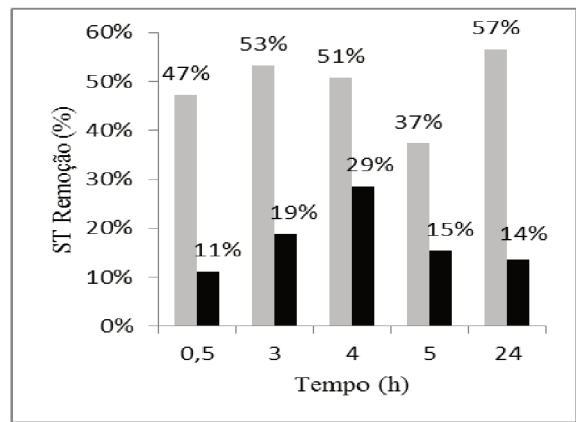
(a)



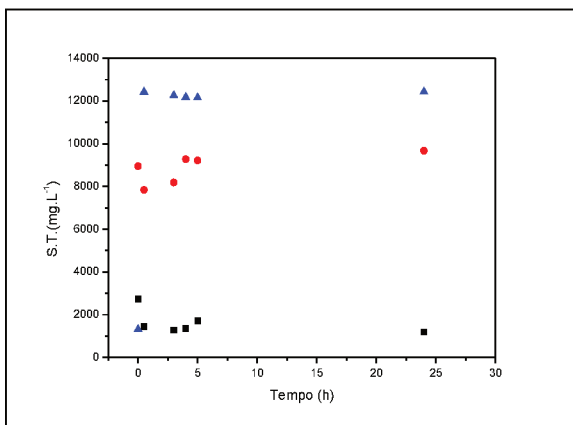
(a.1)



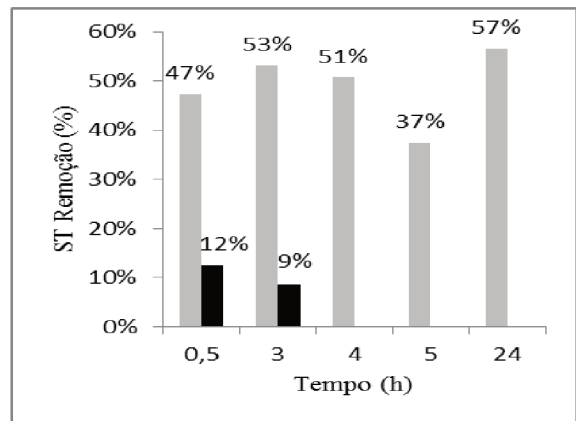
(b)



(b.1)



(c)



(c.1)

**Figura 4.44.** Sólidos Totais e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

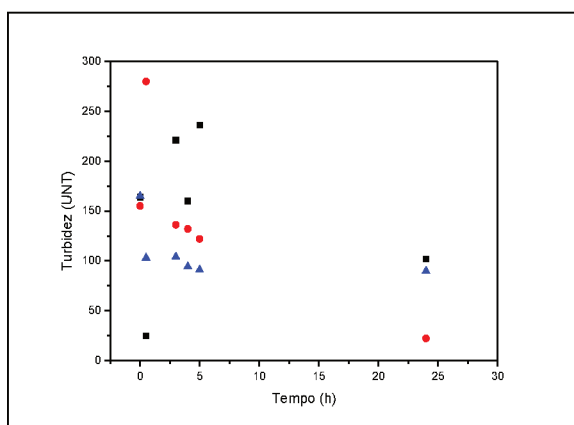
( ■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

( ■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido).

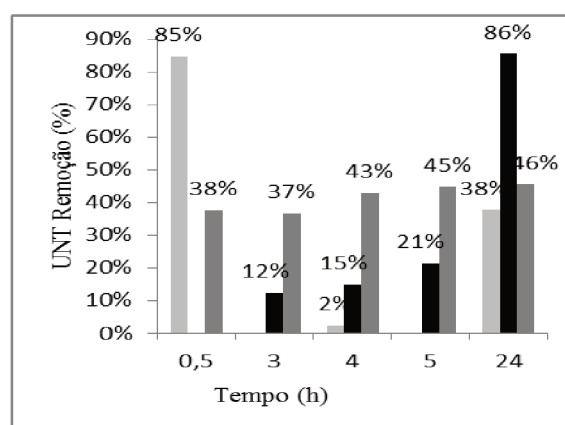
A Figura 4.44 ilustra que ocorreu maior remoção de impurezas baseado nos dados de sólidos totais no sistema com coagulação com o sulfato de ferro (II) e amônio. As três concentrações de ácido oxálico e o tempo de decantação apresentam resultados similares.

### Ácido Oxálico – Sulfato de Ferro (II) e Amônio

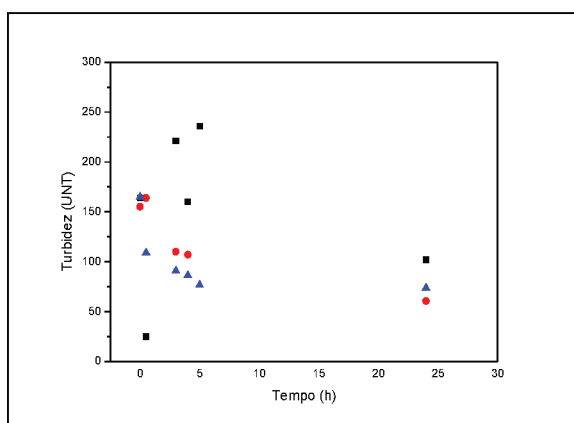
Os gráficos de dispersão da figura 4.45 representam os valores de turbidez (a, b e c) com o tempo e de percentagem de remoção de impurezas de turbidez (a.1, b.1 e c.1) com o tempo, utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio na concentração de  $0,095 \text{ g.L}^{-1}$  e o ácido oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ .



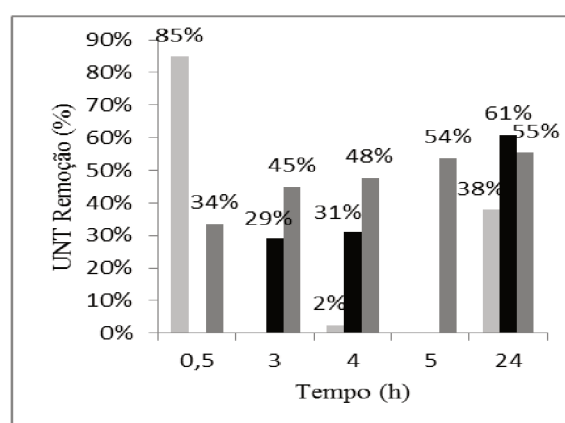
(a)



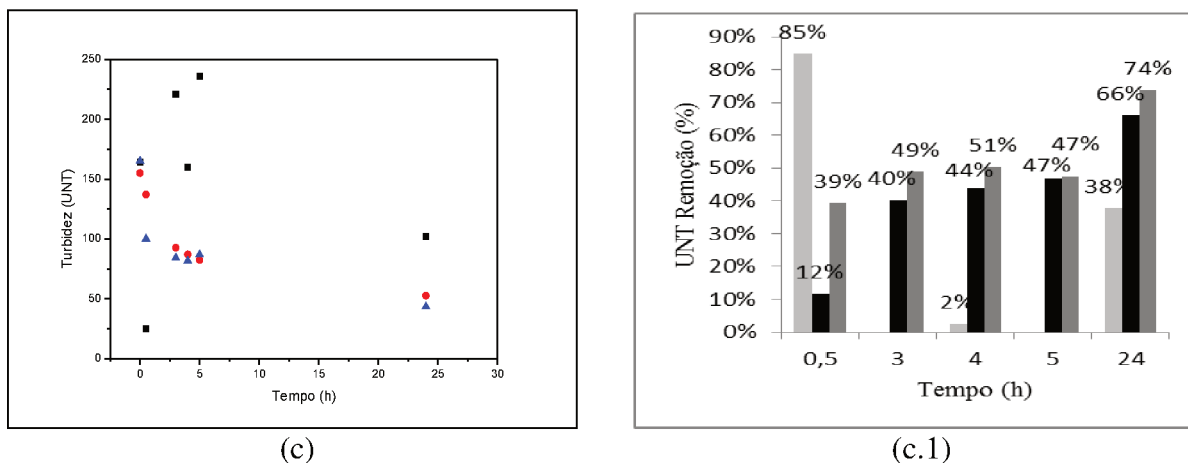
(a.1)



(b)



(b.1)



**Figura 4.45.** Turbidez e Percentagem de Remoção utilizando o Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Oxálico nas concentrações: (a, a.1)  $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ; (b, b.1)  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$  e (c, c.1)  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$

(■ Coagulante, ● Coagulante + Ácido e ▲ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

(■ Coagulante ; ■ Coagulante + Ácido; ■ Coagulante + Ácido + Controle de pH).

Na Figura 4.45, ocorre maior remoção no ponto de decantação de 24 horas, 86%, com o experimento com coagulação utilizando o sulfato de ferro (II) e amônio e acréscimo do ácido oxálico sem controle de pH. O tempo de decantação e a concentração do ácido oxálico são relevantes para remoção de impurezas baseada nos valores de turbidez.

A seguir, apresenta-se as tabelas 4.1 e 4.2 nas quais foram coletados dados de parâmetro água cinza tratada, obtidos na literatura, quais sejam: pH, turbidez, condutividade, sólidos totais e percentual de remoção.

Adicionou-se as tabelas valores médios das variáveis supracitadas, obtidos para os sistemas estudados neste trabalho.



Tabela 4.1: Comparação de parâmetros do experimento com a literatura.

Referência	Tratamento	Parâmetro			
		pH	Turb.	$\lambda$	S.T.
Bazzarella (2005)	Filtro+decantador+desinfecção	7,17		255	
Kim et al. (2007)	Filtro de Fibra + Membrana de Metal (Ultrafiltração)	6,81	3,2	163,8	
Friedler e Gilboa (2008)	Rotador Biológico + Desinfecção (UV)		1,5		
Friedler et al. (2008)	Coagulação+ Sedimentação+ Cloração+Filtração por membrana		9,1		
Gual et al. (2008)	Filtração + Cloração	6,8	32	1098	
Pidou et al. (2008)	Troca Iônica Magnética com Resina (MIEX)		8,14		
Jefferson et al. (2008)	Wetland Vertical	6,9	2		
Bani-Melhem e Smith (2012)	Eletrocoagulação+ Bioreator de Membrana	7,9	4,1	0,56	
Santos et al. (2012)	Filtração+Desinfecção	7			
Paulo et al (2013)	Wetlands : vertical e horizontal		88		
Neste trabalho	Coagulação com auxiliar químico+decantação				
	Ácido Tricloroacético	2,92	34,02	70,8	1100
	Ácido Cítrico	2,57	46,82	20,36	2721
	Ácido Salicílico	2,59	65,3	82,6	1628
	Ácido Ascórbico	3,19	46,8	19,96	2723
	Ácido Oxálico	1,62	36,54	23,96	1662

Tabela 4.2: Comparação do parâmetro turbidez do experimento com a literatura.

Referência	Tratamento	Faixa de Turbidez Tratada	Turbidez Média (%
			Remoção)
Lin et al. (2005)	Eletrocoagulação+Desinfecção	1,2-17	91 °
Prathapar et al. (2006)	Filtração+Carvão Ativado+Filtro de Areia+Desinfecção	17 - 34	54,3 °
Kim et al. (2007)	Filtro de Fibra + Membrana de Metal (Ultrafiltração)	3,2 - 5,9	33 *
Friedler et al. (2008)	Coagulação+ Sedimentação+ Cloração+Filtração por membrana	<1 - 25	67 *
Pidou et al. (2008)	Troca iônica magnética com resina	3,01-8,14	89,6 °
Bani-Melhem e Smith (2012)	Eletrocoagulação+ Bioreator de Membrana	4,1-6,4	97 *
Neste trabalho	Coagulação com auxiliar químico+decantação		
	Ácido Ascórbico	19,7 - 115	74,1 °

\* Dado fornecido pelo autor

° Dado calculado

As Tabelas 4.1 e 4.2, demonstram que o experimento neste trabalho comparado aos da literatura apresentam resultado satisfatório, por não se tratar de um tratamento completo, principalmente em relação à turbidez e condutividade.

A percentagem em remoção de íons de turbidez evidência, que mesmo sendo um experimento primário, comparado com os da literatura que são tratamentos completos, obteve resultado de 74,1%, com pH de 7,3, ou seja, o trabalho demonstra resultados positivos mesmo ainda não sendo um trabalho de tratamento de reuso completo.

## CAPITULO V

### CONCLUSÕES E SUGESTÕES

#### 5.1 Conclusões

Neste trabalho foram apresentados resultados de um monitoramento de um reator contendo água cinza sendo tratada, quimicamente, empregando-se coagulantes tradicionais associados a auxiliares de coagulação na tentativa de melhorar as características desse sistema fluido visando seu descarte em um corpo receptor ou o reúso do mesmo.

A realização de amostragens alternadas da água cinza, no período de decantação do tratamento, e posterior análise, demonstrou ser de grande valia uma vez que, para a maioria dos sistemas, percebeu-se haver um tempo ótimo que variava de 3 a 4 horas em que se observava baixa concentração de sólidos totais bem como nível baixo de turbidez. Ademais, concluiu-se que, a decantação por 24 horas é, salvo algumas exceções, altamente não recomendada, uma vez que os parâmetros avaliados, ou não se alteram consideravelmente, ou se alteram para níveis indesejados.

Notou-se que a adição de um auxiliar eleva a condutividade do sistema líquido ou da água cinza, o que é indesejado. Outro sim, nesta mesma linha, notou-se que nas tentativas de se controlar o pH do sistema, a adição de solução ácida ou básica causa um aumento considerável na condutividade elétrica da mistura. Dessa forma, exceto quando o auxiliar de coagulação é o ácido tricloroacético, não se recomenda o uso do controle de pH da mistura e uma alternativa deve ser buscada no sentido de solucionar esta desvantagem.

O uso de cinco auxiliares de coagulação, quais sejam, soluções de ácido cítrico, tricloroacético, oxálico, ascórbico e salicílico nas três concentrações indicou que, de um modo geral, a menor concentração empregada ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ) causou reduções de turbidez e sólidos totais satisfatórias. Cabe ressaltar que em alguns casos, Fig. 4.2, 4.8, 4.11, 4.17, 4.23, 4.26, 4.29 e 4.40, em que os parâmetros totais é prejudicado, comparativamente, quando se usa somente o coagulante tradicional. Assim, conclui-se que o composto químico não se presta para atuar como auxiliar de coagulação.

A água cinza sintética foi analisada perante a remoção ou não dos parâmetros condutividade, sólidos totais e turbidez em relação ao acréscimo dos auxiliares de coagulação (ácido cítrico, ácido salicílico, ácido tricloroacético e ácido ascórbico). Os dados foram analisados de acordo com os coagulantes tradicionais (sulfato de ferro (II) e amônio, cloreto férrico e sulfato de alumínio) e o acréscimo ou não do auxiliar de coagulação:

- O ácido cítrico apresentou maior remoção de condutividade com o acréscimo do auxiliar de coagulação do que apenas com o emprego do coagulante, para todos os coagulantes. O parâmetro sólidos totais só apresentou maior remoção em relação ao uso do coagulante no cloreto férrico. Já na análise de turbidez só não ocorreu maior remoção com o coagulante sulfato de ferro (II) e amônio.
- O ácido salicílico exibiu maior remoção de condutividade com o acréscimo do auxiliar de coagulação do que apenas com o emprego do coagulante, para todos os coagulantes. O parâmetro sólidos totais só apresentou maior remoção em relação ao uso do coagulante sulfato de ferro (II) e amônio. Já na análise de turbidez só não ocorreu maior remoção com o coagulante sulfato de ferro (II) e amônio.
- O ácido tricloroacético identificou maior remoção de condutividade com o acréscimo do auxiliar de coagulação somente com o emprego do sulfato de alumínio. O parâmetro sólidos totais não apresentou maior remoção em relação ao uso do coagulante sulfato de alumínio. Já na análise de turbidez só não ocorreu maior remoção com o coagulante sulfato de ferro (II) e amônio.
- O ácido oxálico só não obteve maior remoção de condutividade com o acréscimo do auxiliar de coagulação somente com o emprego do sulfato de alumínio. O parâmetro sólidos totais não apresentou maior remoção em relação ao uso de nenhum dos coagulantes apresentados. Já na análise de turbidez só não ocorreu maior remoção com o coagulante sulfato de ferro (II) e amônio.
- O ácido ascórbico só não obteve maior remoção de condutividade com o acréscimo do auxiliar de coagulação somente com o emprego do sulfato de ferro (II) e amônio. O parâmetro sólidos só apresentou maior remoção em relação ao uso do coagulante cloreto férrico. Já na análise de turbidez evidenciou maior remoção no emprego de todos os coagulantes.

Os ensaios experimentais mostraram que, dentre os auxiliares testados, não foi possível indicar um que providenciasse redução de turbidez e sólidos totais de forma simultânea. Desse modo, a depender do objetivo que se deseja alcançar em um tratamento de água cinza, ou seja, qual o parâmetro se deseja suavizar com o tratamento, um auxiliar específico deve ser buscado ou indicado. Não há, ainda, um auxiliar de coagulação universal.

## 5.2 Sugestões

Sugestões para trabalhos futuros:

(1) Explicar os fenômenos químicos que devem ocorrer com a adição dos ácidos, durante a coagulação, ou seja, reações de precipitação etc.

(2) Testar outras composições de água cinza, inclusive provenientes de outras fontes, como por exemplo, lavanderias.

(3) Realizar testes de coagulação mais completos em que parâmetros como a COT sejam quantificados.

(4) Propor alternativas, na literatura, para redução da condutividade da mistura como um tratamento adicional.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conciliação de Conflito dentro da Política Brasileira – O Caso do Sistema Cantareira**. 2007.

BANI- MELHEM, K.; SMITH E. **Grey water treatment by a continuous process of an electrocoagulation unit and a submerged membrane bioreactor system**. New Cairo, Egypt. *Chemical Engineering Journal* 198–199; 201–210, 2012.

BAZZARELLA, B.B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005. <PMid:16400423>

BAZZARELLA, B.B.; GONÇALVES, R. F. **Tratamento de água cinza em processos (anaeróbio + aeróbio) de alta taxa visando o reúso predial**. XXX CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, Punta del Leste, Uruguai, 2006.

BEGOSSO, L. **Determinação de parâmetros de projeto e critérios para dimensionamento e configuração de wetlands construídas para tratamento de água cinza**. 2009. 53 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009. <PMid:19844046>

CARVALHO, I.C.; NETO, R.F.M.; CALIJURI, I.C.. **Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: Efficiency and costs**. Federal University of Viçosa, Viçosa – MG, Brazil. *Resources, Conservation and Recycling* 65,124–129, 2012. < <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.001>>

CLESCERI, L.S.; GREENBERG,A.E.; EATON,A.D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 th. ed. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 1325 p., 1998.

---

CMHC (Canada Mortgage and Housing Corporation). **Final assessment of conservation Co-op's greywater system.** Technocal series 02–100, CHMC, Ottawa, Canada, 2002.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B.. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** Segunda edição, 792 p., Editora Rima, São Carlos, 2005.

EPA (US) -. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse.** EPA 625-R-04-108. Office of Water, Washington, DC, 2004.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MOGENS, H. LEDIN, A. **Characteristics of grey wastewater.** Urban Water. v. 4, n.1, p. 58-104, 2002. < [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4)>

ESREY, S. et al.. **Ecological sanitation.** Sida, Stockholm, 1998. < PMid:9798586>

FILHO P.E.; MARQUES J.J. **Tratamento físico-químico de águas cinzas.** XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ). V Congresso Brasileiro de Termodinâmica Aplicada (CBTERMO). 8º Encontro Brasileiro de Adsorção (EBA). Foz do Iguaçu, 2010.

FRIEDLER, E; KATZ, I; DOSORETZ, C.G. **Chlorination and coagulation as pretreatments for greywater desalination.**, Haifa, Israel. Desalination, 222, 38-49, 2008. <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.130>>

FRIEDLER, E.; GILBOA Y. **UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms.** Water Research 42, 1043-1050, 2008. < <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.09.027>>

GROSS A., SHMUELI O., RONEN Z. and RAVEH E. **Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW)—a novel method of recycling greywater for irrigation in**

---

**small communities and households.** Chemosphere, 2007, 66, No. 5, 916–923. <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.06.006>>

GUAL, M.; MOIA, A.; MARCH, J.G. **Monitoring of an indoor pilot plant for osmosis rejection and greywater reuse to flush toilets in a hotel.** Palma de Mallorca, Spain. Desalination, 219, 38-49, 2008. <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.033>>

HESPANHOL, I. **Potencial de reuso de água no Brasil- Agricultura, indústria, Municípios, recarga de aquíferos.** 2002.

OLIVEIRA, I. S. **Estudo combinado entre o uso de processos oxidativos avançados (POA's) com fotocatalise (ozônio/UV e reagente de Fenton/UV) e o tratamento convencional (lodo ativado) dos resíduos orgânicos gerados nos laboratórios da Faenquil.** Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Química de Lorena. Departamento de Engenharia Química. Lorena, 2004.

JEFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHERSON, T.; JUDD, S. **Technologies for domestic wastewater recycling.** Urban Water. v. 1, n. 4, p. 285-292, 1999. <[https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00030-3](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00030-3)>

JEFFERSON, B.; MEMON, F.A.; LIU S.; PARSONS, S.A.; JEFFREY P.; STEPHENSON T.; AVERY, L., PIDOU, M. **Chemical solutions for greywater recycling.** Cranfield, United Kingdom. Chemosphere 71, 147–155, 2008. <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.10.046>>

JEFFERSON, B.; STEPHSON, T.; AVERY, L.M.; WINWARD, G. P. **Essential oils for the disinfection of grey water.** Macaulay, UK. Water Research 42 , 2260 – 2268, 2008.<<https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.12.004>>

KIM, R.; LEE, S.; JEONG, J.; LEE, J.; KIM, Y. **Reuse of greywater and rainwater using fiber filter media and metal membrane.** Kangwon-Do 200-701, South Korea. Desalination 202, 326–332, 2008. <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.12.071>>



---

KONRADT-MORAES, L. C. K. **Estudos dos processos de coagulação e floculação seguidos de filtração com membranas para obtenção de água potável.** Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Química/UEM, Maringá, PR, 2009. <[https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00023-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00023-6)>

LEAL, L. H.; ZEEMAN, G.; TEMMINK, H.; BUISMAN, C. **Characterization and biological treatment of greywater.** Water Science and Technology, Leeuwarden, Netherlands, v. 56, n. 5, p. 193-200, 2007. <<https://doi.org/10.2166/wst.2007.572>>

LIN C-J, Lo S-L, Kuo C-Y, Wu C-H. **Pilot-scale electrocoagulation with bipolar aluminium electrodes for on-site domestic greywater reuse.** J Environ Eng 2005:491–5 March.

MARCH J. G., GUAL M. and OROZCO F. **Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain).** Desalination, 2004, 164, No. 3, 241–247. <[https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(04\)00192-4](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(04)00192-4)>

MENDES, C. G. N. **Tratamento de águas para consumo humano–Panorama mundial e ações do PROSAB.** In: PADUA, V. L., de (coord.). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro, ABES. 2006.

MONTEIRO, R.C.M. **Viabilidade Técnica do emprego de sistemas tipo “wetlands” para tratamento de água cinza visando reuso não potável.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

NOLDE, E. **Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings – over ten years experience in Berlin.** Urban Water. v. 1, n. 4, p. 275-284, 1999. <[https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00023-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00023-6)>

NSW HEALTH. **Greywater reuse in Sewered single domestic premises.** Sidney,

2002.

OTTERPOHL, R. **Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation.** Water 21, 37-41, 2001.

PAULO, P.L.; AZEVEDO C.; BEGOSSO, L.; GALBIATI A.F.;BONCZ M.A.. **Natural systems treating greywater and blackwater on-site: Integrating treatment, reuse and landscaping.** Federal University of Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS. Brazil Ecological Engineering 50 ,95– 100, 2013. <<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.03.022>>

PARRON. L. M.; MUNIZ D.H.F.; PEREIRA, C.M. **Manual de procedimentos de Amostragem e análise físico-química de água.** Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

PIDOU, M.; Memon F.A.; Stephenson T.; Jefferson, B.; Jeffrey P. **Greywater recycling: treatment options and applications.** Proceedings of the Institution of Civil Engineers Engineering Sustainability 160, 119-131, 2007. <<https://doi.org/10.1680/ensu.2007.160.3.119>>

PERTEL, M.. **Caracterização do uso da água e energia associada à água em uma edificação residencial convencional e uma dotada de sistema de reuso de água cinza.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

PRATHAPAR, S.A.; JAMRAH A.; AHMED M.; ADAWI S.; SIDAIRI, S.; HARASSI A. **Overcoming constraints in treated greywater reuse in Oman.** Desalination 186, 177–186, 2005. <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.01.018>>

RAPOPORT, B. **Águas cinzas: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reusos domiciliar e condominial.** Tese de Doutorado, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2004.

REBOUÇAS, A. C. **Águas no Brasil: abundância, desperdício e escassez**. Bahia Análise & Dados. Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, 341-345, 2003.

SANTOS, C.; Taveira-Pinto, F.; Cheng C. Y.; Leite D. **Development of an experimental system for greywater reuse**, Desalination.285 301-305, 2012. <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.10.017>>

SOSTAR-TURK S., PETRINIC I. and SIMONIC M. **Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration**. Resources, Conservation and Recycling, 2005, 44, No. 2, 185–196. <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2004.11.002>>

**Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 1998.

WHO/UNICEF JOINT MONITORING PROGRAMME FOR WATER SUPPLY AND SANITATION. **Global water supply and sanitation assessment 2000 report**. Geneva, World Health Organization (WHO) and United Nations Children's Fund (UNICEF), Apr. 24, 2001. 79 p.

WESTERHOFF, G. P. **Un update of research needs for water reuse**. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 3º Proceedings. San Diego, Califórnia, 1984.

## APÊNDICE A

Tabelas com os valores finais de pH com a adição na água cinza de coagulante, ácido (auxiliar de coagulação) e controle de pH (sem ser mensurado  $\text{g.L}^{-1}$ ), seguido de tempo de decantação.

Tabela 1- Sulfato Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) Ácido Cítrico ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,96	6,98	7,00	7,02	7,12

Tabela 2 - Sulfato Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico ( $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	7,40	7,43	7,00	7,37	7,56

Tabela 3 - Sulfato Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico ( $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	7,24	7,48	7,45	7,56	7,33

Tabela 4 - Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,84	7,01	7,00	7,06	7,28

Tabela 5 - Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico ( $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,73	6,91	6,91	7,00	7,20

Tabela 6 - Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico ( $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,67	6,97	6,94	7,01	7,14

Tabela 7 – Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Cítrico (2,38 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	7,25	7,27	7,28	7,14	6,91

Tabela 8 – Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Cítrico (7,14 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	7,07	7,10	7,07	6,94	7,05

Tabela 9 – Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Cítrico (11,90 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,60	6,61	6,64	6,50	6,63

Tabela 10 – Sulfato de Alumínio (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Salicílico (2,38 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	7,60	6,55	6,38	5,88	4,59

Tabela 11 – Sulfato de Alumínio (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Salicílico (7,14 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,20	6,05	6,00	4,63	4,10

Tabela 12 – Sulfato de Alumínio (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Salicílico (11,90 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,28	6,29	6,31	6,27	5,63

Tabela 13 – Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Salicílico (2,38 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,51	6,12	6,17	6,25	4,72

Tabela 14 – Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Salicílico (7,14 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	7,01	6,60	6,30	4,77	4,29

Tabela 15 – Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Salicílico (11,90 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,70	6,50	6,20	5,23	4,29

Tabela 16 – Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Salicílico (2,38 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,27	4,47	4,22	4,09	3,30

Tabela 17 – Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Salicílico (7,14 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,89	6,68	6,54	6,45	5,60

Tabela 18 – Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Salicílico (11,90 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	8,66	6,37	5,51	4,32	3,53

Tabela 19 – Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Ascórbico (2,38 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	7,01	7,10	7,08	7,30	6,23

Tabela 20 – Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Ascórbico (7,14 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,85	6,91	6,82	6,92	5,98

Tabela 21 – Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico ( $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	8,30	8,67	8,08	8,15	6,65

Tabela 22 – Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	7,82	7,00	7,05	7,06	6,79

Tabela 23 – Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico ( $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	7,89	7,54	7,55	7,44	4,56

Tabela 24 – Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico ( $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	4,21	3,54	3,48	3,50	3,31

Tabela 25 – Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,90	6,74	6,80	6,90	7,04

Tabela 26 – Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico ( $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	7,00	6,87	6,88	6,89	6,75

Tabela 27 – Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico ( $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,50	3	4	5	24
pH	7,13	7,00	6,97	6,94	6,72

Tabela 28 – Sulfato de Alumínio (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Oxálico (2,38 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	7	7,4	7,14	7,2	7,69

Tabela 29 – Sulfato de Alumínio (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Oxálico (7,14 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,65	6,98	6,98	7,02	7,83

Tabela 30 – Sulfato de Alumínio (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Oxálico (11,90 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,03	6,14	6,08	6,11	7,21

Tabela 31 – Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Oxálico (2,38 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	7,22	7,75	7,30	7,55	7,16

Tabela 32 – Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Oxálico (7,14 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,36	6,79	6,50	6,53	7,16

Tabela 33 – Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Oxálico (11,90 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	6,28	6,52	6,41	6,40	6,96

Tabela 34 – Sulfato de Ferro (II) e Amônio (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Tricloroacético (2,38 g.L<sup>-1</sup>).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	9,40	9,60	9,59	9,62	8,76



Tabela 35 – Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Tricloroacético ( $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	8,01	7,91	7,92	7,85	7,98

Tabela 36 – Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Tricloroacético ( $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	8,71	8,70	8,66	8,59	8,24

Tabela 37 – Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Tricloroacético ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	8,56	7,37	7,90	7,70	8,39

Tabela 38 – Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Tricloroacético ( $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	8,00	7,47	7,60	7,62	

Tabela 39 – Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Tricloroacético ( $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ ).

	Tempo decantação (h)				
	0,5	3	4	5	24
pH	7,60	7,27	7,42	7,44	8,04

## APÊNDICE B

Desvio padrão das soluções que proporcionaram maior remoção dos parâmetros: condutividade, sólidos totais e turbidez.

Tabela 1- Sulfato Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e Ácido Cítrico ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ )

	Concentração do ácido ( $\text{g. L}^{-1}$ )		
	2,38	7,14	11,90
Condutividade	2,60	2,00	3,08
Sólidos Totais	7,27	5,32	1,14
Turbidez	14,57	14,57	19,70

Tabela 2 – Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ )

	Concentração do ácido ( $\text{g. L}^{-1}$ )		
	2,38	7,14	11,90
Condutividade	3,11	4,28	3,96
Sólidos Totais	2,51	3,03	2,79
Turbidez	19,69	20,59	18,98

Tabela 3 – Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Cítrico ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ )

	Concentração do ácido ( $\text{g. L}^{-1}$ )		
	2,38	7,14	11,90
Condutividade	23,18	4,53	5,07
Sólidos Totais	3,05	1,52	1,09
Turbidez	8,28	8,69	8,34

Tabela 4 – Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Salicílico ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ )

	Concentração do ácido ( $\text{g. L}^{-1}$ )		
	2,38	7,14	11,90
Condutividade	3,16	3,08	3,08
Sólidos Totais	7,27	5,31	1,14
Turbidez		22,30	19,70

Tabela 5 – Cloreto Férrico ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Salicílico ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ )<sup>1)</sup>

	Concentração do ácido ( $\text{g. L}^{-1}$ )		
	2,38	7,14	11,90
Condutividade	4,27	4,16	10,09
Sólidos Totais	11,39	10,78	2,79
Turbidez	6,57	12,07	

Tabela 6 – Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Salicílico ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ )

	Concentração do ácido ( $\text{g. L}^{-1}$ )		
	2,38	7,14	11,90
Condutividade	3,19	2,49	2,17
Sólidos Totais	16,07	10,11	1,09
Turbidez	19,43	33,71	10,73

Tabela 7 – Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ )

	Concentração do ácido ( $\text{g. L}^{-1}$ )		
	2,38	7,14	11,90
Condutividade	11,93	11,19	5,94
Sólidos Totais	4,36	5,12	0,00
Turbidez	11,71	26,45	22,81

Tabela 8 – Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Ascórbico ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ )

	Concentração do ácido ( $\text{g. L}^{-1}$ )		
	2,38	7,14	11,90
Condutividade	3,16	2,60	5,54
Sólidos Totais	7,15		
Turbidez	24,46	21,29	16,45

Tabela 9 – Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Ascórbico (2,38 g.L<sup>-1</sup>; 7,14 g.L<sup>-1</sup>; 11,90 g.L<sup>-1</sup>)

	Concentração do ácido (g. L <sup>-1</sup> )		
	2,38	7,14	11,90
Condutividade	0,84	2,07	4,44
Sólidos Totais	7,79		
Turbidez	18,73	15,38	11,33

Tabela 10 – Sulfato de Alumínio (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Tricloroacético (2,38 g.L<sup>-1</sup>; 7,14 g.L<sup>-1</sup>; 11,90 g.L<sup>-1</sup>)

	Concentração do ácido (g. L <sup>-1</sup> )		
	2,38	7,14	11,90
Condutividade	25,38	26,31	24,07
Sólidos Totais	17,53	21,23	14,31
Turbidez	33,97	18,74	33,19

Tabela 11 – Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Tricloroacético (2,38 g.L<sup>-1</sup>; 7,14 g.L<sup>-1</sup>; 11,90 g.L<sup>-1</sup>)

	Concentração do ácido (g. L <sup>-1</sup> )		
	2,38	7,14	11,90
Condutividade	19,46	18,79	4,47
Sólidos Totais	38,74	20,05	17,73
Turbidez	31,74	32,58	19,68

Tabela 12 – Cloreto Férrico (0,095 g.L<sup>-1</sup>) e o Ácido Oxálico (2,38 g.L<sup>-1</sup>; 7,14 g.L<sup>-1</sup>; 11,90 g.L<sup>-1</sup>)

	Concentração do ácido (g. L <sup>-1</sup> )		
	2,38	7,14	11,90
Condutividade	1,22	2,94	1,14
Sólidos Totais		3,58	3,83
Turbidez	26,18	31,24	30,02

Tabela 13 – Sulfato de Ferro (II) e Amônio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Oxálico ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ )

	Concentração do ácido ( $\text{g. L}^{-1}$ )		
	2,38	7,14	11,90
Condutividade	13,35	40,56	31,18
Sólidos Totais	19,48	6,98	5,85
Turbidez	33,97	6,99	19,42

Tabela 14 – Sulfato de Alumínio ( $0,095 \text{ g.L}^{-1}$ ) e o Ácido Oxálico ( $2,38 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $7,14 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $11,90 \text{ g.L}^{-1}$ )

	Concentração do ácido ( $\text{g. L}^{-1}$ )		
	2,38	7,14	11,90
Condutividade	14,50	17,92	10,45
Sólidos Totais	9,84		3,13
Turbidez	30,36	24,38	23,77

## APÊNDICE C

### EQUIPAMENTOS



Figura 1- Balança eletrônica semi-analítica modelo BL3200H marca Marte.



Figura 2 - Balança eletrônica analítica modelo FA2104N marca Bioprecisa.



Figura 3 - Condutivímetro modelo CD-850 da marca Instrutherm



Figura 4 - Agitador magnético modelo MA089 marca Marconi.



Figura 5 - Estufa de esterilização e secagem modelo 4004/D marca Nova Ética.



Figura 6 - pHmetro portátil modelo PG 1400 marca Gehaka.