

**ESTUDO DO PADRÃO DE EMISSÃO DE POLUENTES PARA O  
ENQUADRAMENTO DE RIOS INTERMITENTES:**

**Estudo de caso do Rio Salgado, Ce**

**RODOLFO JOSÉ SABIÁ**

**FORTALEZA – CEARÁ**

**Junho de 2008**

**ESTUDO DO PADRÃO DE EMISSÃO DE POLUENTES PARA O  
ENQUADRAMENTO DE RIOS INTERMITENTES:  
Estudo de caso do Rio Salgado, Ce**

**RODOLFO JOSÉ SABIÁ**

Tese de Doutorado em Engenharia Civil  
Área de Concentração – Saneamento Ambiental

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

Junho de 2008

**ESTUDO DO PADRÃO DE EMISSÃO DE POLUENTES PARA O  
ENQUADRAMENTO DE RIOS INTERMITENTES:**

**Estudo de caso do Rio Salgado, Ce**

**RODOLFO JOSÉ SABIÁ**

Tese submetida à Coordenação do Curso de Doutorado em Engenharia Civil, Área de  
Concentração – Saneamento Ambiental, como requisito parcial para obtenção de Grau  
Doutor.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

Junho de 2008

Esta Tese foi apresentada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil, Área de Concentração Saneamento Ambiental, outorgada pela Universidade Federal do Ceará, em cuja Biblioteca Central encontra-se à disposição dos interessados.

A citação de qualquer trecho desta Tese é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

---

Rodolfo José Sabiá

Tese Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Examinadores:

---

Professor Doutor José Carlos de Araújo  
(Orientador da Tese)

---

Professor Doutor Horst Frischkorn  
Universidade Federal do Ceará

---

Professor Doutor Luiz Alberto Ribeiro Mendonça  
Universidade Federal do Ceará

---

Professor Doutor Marcelo Pereira de Souza  
Universidade de São Paulo

---

Doutor Renato Carrhá Leitão  
Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias EMBRAPA

**Dedico este trabalho a todos aqueles que acreditam em melhores dias a partir de uma gestão participativa dos recursos hídricos no Cariri.**

## **AGRADECIMENTO**

À minha esposa Josefa Ferreira Lima Sabiá, que em todos os momentos foi o meu alicerce fornecendo-me estímulo, paciência e confiança.

Aos meus pais Antonio Patrício Sabiá e Maria do Céu Calou Sabiá e meus irmãos Antonio Murilo Sabiá e Pedro Eugênio Sabiá, parceiros incondicionais em toda a minha formação acadêmica.

Ao grande professor pesquisador Dr. José Carlos de Araújo, de quem tive a honra de ser orientado. Este exigiu o máximo do meu empenho e norteou as minhas ações, para a conquista de cada etapa deste trabalho de tese.

Ao Gerente Regional da bacia do Salgado José Yarley Brito Gonçalves e ao Gerente de Desenvolvimento Operacional Walt Disney Paulino da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH) pelo apoio para o custeio das análises físicoquímicas e bacteriológicas realizadas para esta tese.

Ao Chefe da Área de Proteção Ambiental do Araripe, Francisco Jacson Antero, que viabilizou a realização do Mapeamento e cadastramento dos lançamentos de efluentes nos rios, riachos e córregos na área de estudo.

Aos membros do Projeto Salgado/ URCA / CONPAM Sávio de Brito Fontenele, Zilma Nunes da Silva, Lívia França Aguiar, Nágila Cristina Dias Rodrigues e Thiago Silva Ferreira que, ao meu lado, desbravaram as ações experimentais desta pesquisa.

Aos meus amigos Pedro Medeiros e José Cláudio Pereira Oliveira, sempre dispostos a colaborar para o êxito da pesquisa.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela colaboração através de bolsa de doutoramento.

Aos membros do Comitê da Sub-bacia do Salgado e a todos os atores sociais que participaram da etapa de experimento social realizada nesta pesquisa.

A todos os professores do Curso de Doutorado em Engenharia Civil com área de concentração em Saneamento Ambiental, que me forneceram conhecimentos valiosos e incentivos para minha formação profissional.

## RESUMO

O estudo foi desenvolvido em um trecho de 50 km do Rio Salgado, objetivando propor uma metodologia capaz de determinar o padrão de emissão de poluentes adequado à capacidade de autodepuração de um rio em região semi-árida. Foram realizadas as etapas: (i) reconhecimento da área a partir do mapeamento do rio Salgado e seus afluentes; (ii) diagnóstico da qualidade de água (Fase I, 1300 análises): entre março e setembro de 2005, tendo-se selecionado oito seções do rio para a coleta e análise de amostras, observando-se 27 parâmetros em seis campanhas de monitoramento; (iii) diagnóstico da qualidade de água (Fase II, 1500 análises): entre fevereiro de 2006 e janeiro de 2007, feito através de doze campanhas de monitoramento em 14 seções com os parâmetros OD, DBO, Coliformes termotolerantes, coliformes totais, pH, turbidez, condutividade elétrica, temperatura da água e do ar; (iv) experimento social, processo participativo envolvendo CSBH-Salgado e demais atores sociais da bacia de estudo, fomentando-se a discussão sobre o enquadramento das águas; (v) modelagem da qualidade da água usando QUAL2E, calibrando-se dois de seus parâmetros: coeficiente de decaimento de DBO e coeficiente de decaimento de coliformes. A validação do modelo QUAL2E foi feita utilizando doze campanhas entre fevereiro de 2006 e janeiro de 2007, distinguindo os períodos úmido e seco. A simulação de cenários foi feita para o padrão de emissão de DBO com concentrações de 5 a 100 mg/L, e para o padrão de coliformes com as concentrações de  $10^3$  a  $10^7$  NMP/100mL. Este trabalho de tese conclui que o Rio Salgado, no trecho em estudo, encontra-se poluído. Foi comprovado que pelo menos cinco parâmetros se encontram em desacordo com os padrões de qualidade, inclusive da classe IV: oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes (CTT), nitrogênio amoniacal e fósforo total. O modelo provou ser válido para simulação de OD, DBO e CTT para o período úmido com coeficientes de Nash e Sutcliffe (NSE) entre 0,61 e 0,96. Para o período seco, o modelo mostrou-se aceitável para OD e DBO (NSE entre 0,33 e 0,49) e válido para CTT (NSE 0,83). Os atores sociais identificaram os “padrões de emissão” como instrumento essencial para a sustentabilidade ambiental da bacia. A proposta desta pesquisa de se admitir uma “tolerância” aos parâmetros de qualidade de água foi aceita pelos membros do comitê como ferramenta válida. Os membros do comitê indicaram, para o trecho em estudo, Classe II com tolerância de aproximadamente 10%. A simulação de

cenários usando o modelo QUAL-2E mostrou valores do padrão de emissão de DBO, para a Classe II nos períodos úmido e seco, de 6 mg/L. Caso o rio seja enquadrado na Classe III, os valores seriam de 20 e 17 mg/L para os períodos úmido e seco, respectivamente. Apesar de a Classe II ser a desejada para o enquadramento do rio pelo comitê, verificou-se que os valores dos padrões de emissões seriam muito baixos para DBO, tornando inviável a sua adoção, pois as atividades poluidoras são incapazes de alcançar tal eficiência no estado atual. Já para o padrão de emissão de coliformes termotolerantes, o padrão de emissão seria de  $10^3$  NMP/100mL (período seco) e  $10^4$  NMP/100mL (período úmido) para que o rio seja de Classe II, enquanto que, para a Classe III, o padrão de emissão seria da ordem de  $10^5$  NMP/100mL, tanto para o período úmido quanto para o período seco. De acordo com a análise feita nesta tese, o enquadramento mais adequado para o trecho do rio Salgado entre a Fonte da Batateira e a Cachoeira de Missão Velha, nas condições atuais é a Classe III com tolerância de 10%.



## ABSTRACT

This study was carried out on a 50 km length of the Salgado River, aiming to propose a methodology to determine an adequate pattern of pollutants emission, compatible with the natural recovery capacity of a river in a semi-arid region. The following steps were taken: (i) characterization of the study area based on the map of Salgado river and its tributaries; (ii) water quality diagnostic (Phase I, 1300 analysis): from March to September, 2005, in which eight river sections were selected for sampling, and 27 parameters were analysed in six monitoring campaigns; (iii) water quality diagnostic (Phase II, 1500 analysis): from February 2006 to January 2007, composed of twelve monitoring campaigns in 14 river sections with the parameters DO, BOD, faecal coliforms, total coliforms, pH, turbidity, electric conductivity, water and air temperature; (iv) social experiment, a participatory process involving CSBH-Salgado (Salgado Watershed Committee) and other social actors of the study watershed, promoting the discussion on water quality classification; (v) water quality modelling with the QUAL-2E model, calibrating two parameters: BOD and coliforms decay coefficients. Model validation was carried out using twelve campaigns from February 2006 to January 2007, distinguishing wet and dry periods. Scenarios simulation was performed for the BOD emission pattern with concentrations varying from 5 to 100 mg/L, and for the coliforms pattern with concentrations from  $10^3$  to  $10^7$  MPN/100mL. This thesis concludes that the Salgado River, on the study reach, is polluted. It was identified that at least five parameters are in disagreement with the quality standards, inclusive for the Class IV: dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), faecal coliforms (FC), ammonia nitrogen and total phosphorus. The model was valid for the DO, BOD and FC simulations for the wet period, with Nash and Sutcliffe coefficient (NSE) from 0.61 to 0.96. For the dry period, the model was acceptable for DO and BOD (NSE from 0.33 to 0.49) and valid for FC (NSE 0.83). The social actors identified the “emission patterns” as an essential instrument for the watershed environmental sustainability. The proposal of this research in admitting a “tolerance” to the water quality parameters was accepted by the committee members as a valid tool. The committee members indicated, for the study reach, Class II with tolerance of approximately 10%. The scenarios simulation using the QUAL-2E model indicated values of emission pattern for BOD, for the Class II in the wet and dry periods, of 6 mg/L. In the case the river is classified in the Class III, the

values would be 20 and 17 mg/L for the wet and dry period, respectively. Although Class II is desired for the river classification by the committee, it was observed that the emission patterns would be too low for BOD, making its adoption impracticable, since the polluting activities are not capable of reaching such efficiency on their current stage. For the faecal coliforms, the emission pattern would be  $10^3$  MPN/100mL (dry period) and  $10^4$  MPN/100mL (wet period) in the case the river is classified in the Class II, whereas for the Class III, the emission pattern would be of the order of  $10^5$  MPN/100mL, for both wet and dry periods. According to the analysis performed in this thesis, the most adequate water quality classification for the Salgado River on the reach between the Batateira Fountain and the Missão Velha Waterfall, on the current conditions, is the Class III with tolerance of 10%.

## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 1. Cartograma georeferenciado da área de trabalho</u> .....	37
<u>Figura 2. Peculiaridades de Crato e Juazeiro do Norte no tratamento dos efluentes municipais</u> .....	38
<u>Figura 3 Reunião do CSBH – Salgado realizada no dia 08 de Março de 2007 no município de Barros-CE onde foram iniciados os trabalhos deste experimento social</u> .....	48
<u>Figura 4. Diagrama de trechos, elementos computacionais (EC), entradas e seções de monitoramento no Rio Salgado</u> .....	50
<u>Figura 5. Comparativo da presença de água nos períodos úmido e seco na Cachoeira de Missão Velha, seção 8 da área de estudo</u> .....	56
<u>Figura 6. Curva de permanência de vazões</u> .....	57
<u>Figura 7. Impactos observados na zona fisiográfica da encosta da chapada do Araripe</u> .....	61
<u>Figura 8. Canal do rio Grangeiro afetado por fortes chuvas, durante a “quadra invernososa”</u>	62
<u>Figura 9. Galeria com maior fluxo de despejo de efluentes domésticos oriundos do centro da cidade</u> .....	62
<u>Figura 10. Lançamento de sangue no rio proveniente de frigorífico</u> .....	62
<u>Figura 11. Efeito visual danoso do lançamento de frigorífico</u> .....	62
<u>Figura 12. Poluição causada por efluentes domésticos, de galvanoplastia, lixos e detritos de toda natureza</u> .....	63
<u>Figura 13. Estrutura de barramento do curso d’água do leito do rio Carás</u> .....	63
<u>Figura 14. Contribuição do rio Carás para o rio Salgado, ainda em Juazeiro do Norte</u> .....	63
<u>Figura 15. Contribuição do rio Salamanca para o rio Salgado</u> .....	64
<u>Figura 16. Cachoeira de Missão Velha, último ponto de coleta da área de estudo</u> .....	64
<u>Figura 17. Concentrações de Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio obtidos no diagnóstico fase I, entre Março e Setembro de 2005, no rio Salgado</u> .....	66
<u>Figura 18 – Concentrações de Coliformes Termotolerantes obtidos no diagnóstico fase I, entre Março e Setembro de 2005, no rio Salgado</u> .....	68
<u>Figura 19. Concentrações de Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio obtidos no diagnóstico fase II, Período Úmido no rio Salgado</u> .....	71
<u>Figura 20. Concentrações Coliformes Termotolerantes obtidos no diagnóstico fase II, Período Úmido no rio Salgado</u> .....	73
<u>Figura 21. Concentrações de Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio obtidos no diagnóstico fase II, Período Seco no rio Salgado</u> .....	74
<u>Figura 22. Concentrações Coliformes Termotolerantes obtidos no diagnóstico fase II, Período Seco no rio Salgado</u> .....	76
<u>Figura 23. Valores médios dos erros, entre Oxigênio Dissolvido – OD e Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, utilizados na calibração do coeficiente de decaimento de DBO – <math>K_1</math>, na campanha 2 de 03.05.05 no rio Salgado</u> .....	79
<u>Figura 24. Comparativo entre os valores medidos e simulados com QUAL2E com o parâmetro <math>K_1</math> calibrado de Oxigênio Dissolvido na campanha 2 (03/05/05)</u> .....	80
<u>Figura 25. Comparativo entre os valores medidos e simulados com QUAL2E (com o parâmetro <math>K_1</math> calibrado) de Demanda Bioquímica de Oxigênio, na campanha 2 de 03/05/05 no rio Salgado</u> .....	80
<u>Figura 26. Valores dos erros para Coliformes Termotolerantes, utilizados na calibração do coeficiente de decaimento de coliformes – <math>K_5</math> na campanha 2 em 03.05.05 no rio Salgado</u>	81
<u>Figura 27. Comparativo entre os valores medidos e simulados com QUAL2E de Coliformes Termotolerantes, na campanha 2 de 03/05/05 no rio Salgado</u> .....	82

<u>Figura 28. Comparativo entre valores medidos e observados de coliformes termo tolerantes para validação do modelo QUAL2E no período úmido .....</u>	<u>84</u>
<u>Figura 29. Comparativo entre valores medidos e observados de coliformes termotolerantes para validação do modelo QUAL2E no período seco .....</u>	<u>85</u>
<u>Figura 30 - Histogramas comparativos da frequência de Oxigênio Dissolvido para diferentes padrões de emissão de DBO nos períodos úmido.e seco no rio Salgad .....</u>	<u>87</u>
<u>Figura 31 - Histogramas comparativos da frequência de Demanda Bioquímica de Oxigênio para diferentes padrões de emissão de DBO nos períodos úmido.e seco no rio Salgado.....</u>	<u>89</u>
<u>Figura 32 - Histogramas comparativos da frequência de Coliformes Termotolerantes para diferentes padrões de emissão de CTT nos períodos úmido.e seco no rio Salgado .....</u>	<u>91</u>
<u>Figura 33. Níveis de Tolerância como resultado da aplicação de diferentes padrões de emissão de DBO nos períodos úmido e seco no rio Salgado .....</u>	<u>92</u>
<u>Figura 34. Níveis de Tolerância como resultado da aplicação de diferentes padrões de emissão de Coliformes Termotolerantes nos períodos úmido e seco no rio Salgado .....</u>	<u>93</u>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Indicadores socioeconômicos da área de estudo .....	39
Tabela 2. Seções do rio Salgado usadas para coleta de amostras de água bruta entre março e setembro de 2005 .....	44
Tabela 3. Datas das campanhas de coleta de amostras para realização de determinações físico-químicas e bacteriológicas .....	44
Tabela 4. Parâmetros analisados nesta pesquisa com limites e sem limites de acordo com a resolução CONAMA 357/05 .....	45
Tabela 5. Seções adicionais do rio Salgado usadas para coleta de amostras de água bruta em 2006 .....	46
Tabela 6. Campanhas realizadas na fase II .....	47
Tabela 7. Parâmetros do modelo QUAL2E a serem avaliados na modelagem do rio Salgado .....	49
Tabela 8. Coeficientes aplicados em diversos estudos de caso utilizando o modelo QUAL2E .....	51
Tabela 9. Vazões para permanências de referência nas seções de monitoramento de qualidade da água .....	54
Tabela 10. Valores dos dados climatológicos usados na calibração do modelo QUAL2E para o rio Salgado.....	55
Tabela 11. Valores dos coeficientes usados na calibração do modelo QUAL2E para o rio Salgado.....	55
Tabela 12. Vazões utilizadas para validação do modelo QUAL2E no período úmido com base nos registros do posto fluviométrico Sítio Lapinha .....	58
Tabela 13. Dados referentes ao mapeamento e cadastramento de lançamentos de efluentes .....	60
Tabela 14. Valores dos parâmetros medidos entre março e setembro de 2005 no rio Salgado e limites estabelecidos na resolução CONAMA 357/05 .....	65
Tabela 15. Valores de OD e DBO medidos e simulados, assim como a média dos erros, entre OD e DBO, usando parâmetro $K_1$ ótimo ( $0,13 \text{ dia}^{-1}$ ), com base nos dados de 03 de maio de 2005 no rio Salgado .....	78
Tabela 16. Valores de $\text{Log}_{10}$ NMP/100mL de coliformes termotolerantes medidos e simulados, assim como erro de simulação do modelo QUAL2E, usando parâmetro $k_5$ ótimo ( $0,13 \text{ dia}^{-1}$ ), com base nos dados de 03 de maio de 2005 no rio Salgado .....	81
Tabela 17. Resultados do coeficiente de eficiência de Nash & Sutcliffe - NSE para validação do modelo utilizando os parâmetros OD, DBO e Coliformes Termotolerantes nos períodos seco e úmido.....	82
Tabela 18. Padrões de emissão de DBO (mg/L) para diversos níveis de tolerância das Classes II e III, nos períodos úmido e seco para o rio Salgado .....	94
Tabela 19. Padrões de emissão de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) para diversos níveis de tolerância das Classes II e III, nos períodos úmido e seco para o rio Salgado .....	94
Tabela 20. Emissão média medida dos agentes poluidores.....	95

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COGERH	Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Ceará
CONPAM	Conselho de Políticas e Gestão do Meio Ambiente do Estado do Ceará
CSBH SALGADO	Comitê da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Salgado
CTECH	Câmara Técnica de Enquadramento dos Corpos Hídricos
CTT	Coliformes Termotolerantes
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EC	Elementos Computacionais
GIS	Sistema de Informação Geográfica
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
NSE	Coefficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
SIGERH	Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	VI
<b>ABSTRACT</b> .....	VIII
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	X
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	XII
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	XIII
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1.1. Problematização</b> .....	15
<b>1.2 Hipóteses</b> .....	16
<b>1.3 Objetivos</b> .....	16
<b>1.4 Justificativa</b> .....	17
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
<b>2.1. Evolução da legislação de águas no Brasil</b> .....	18
<b>2.2. Modelagem de Qualidade de água</b> .....	21
<b>2.3. Gestão das Águas e Enquadramento dos Corpos Hídricos</b> .....	32
<b>3. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	36
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	43
<b>4.1 Reconhecimento da área</b> .....	43
<b>4.2 Diagnóstico da qualidade de água (Fase I)</b> .....	43
<b>4.3 Diagnóstico da qualidade de água (Fase II)</b> .....	46
<b>4.4 Experimento social</b> .....	47
<b>4.5 Modelagem de qualidade de água</b> .....	49
4.5.1 Calibração dos parâmetros .....	49
4.5.2 Validação do Modelo QUAL2E .....	56
4.5.3 Simulação de Cenários .....	58
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	60
<b>5.1 Reconhecimento da área</b> .....	60
<b>5.2 Diagnostico - Fase I</b> .....	64
<b>5.3 Diagnóstico - Fase II</b> .....	70
<b>5.4 Experimento Social</b> .....	77
<b>5.5 Modelagem de qualidade de água</b> .....	78
5.5.1 Calibração dos Parâmetros .....	78
5.5.2 Validação do Modelo QUAL2E .....	82
5.5.3 Simulação de Cenários .....	86
<b>6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES</b> .....	96
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	99
<b>APÊNDICE</b> .....	104

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Problematização

O uso racional dos recursos hídricos é imprescindível para o desenvolvimento de qualquer país. Episódios de escassez, contaminação e conflitos de uso da água, freqüentes em várias regiões do mundo reforçam a necessidade da aplicação de instrumentos de gestão de águas afinados com a realidade social, econômica e ambiental, como citados por Ribarova et al. (2008); Xia e Shao (2008); Stamou e Kamizoulis(2008); Kannel et al. (2008); Stapletona et al. (2008); Wang et al. (2008); Maillarda e Santos (2008); Johnsona et al. (2008); Chen e Adams (2007); Kerachian e Karamouz (2007); Karmakar e Mujumdar (2007); Luo e You (2007); Moro et al. (2007); Kannel et al. (2007); Holvoeta et al. (2007).

Os rios do semi-árido são em sua maioria intermitentes. Nestes as baixas precipitações, os solos rasos, a irregularidade pluviométrica e a elevada evaporação são algumas variáveis edafoclimáticas que, associadas, condicionam o fenômeno. Estes corpos d'água encontram-se mais vulneráveis a problemas e impactos, decorrentes da ação antrópica e de atividades poluidoras.

O crescimento desordenado das zonas urbanas influencia a ocupação em áreas marginais aos corpos d'água, propiciando a existência de lançamento de lixo e efluentes nos corpos d'água superficiais.

A região semi-árida do nordeste do Brasil, na qual a área de estudo deste trabalho está inserida, caracteriza-se pela irregularidade pluviométrica, sazonalidade e presença cíclica de secas. A sazonalidade distingue dois períodos: úmido e seco. No período seco, o impacto da poluição é agravado, quando a vazão é insuficiente para promover a depuração das cargas poluidoras.

O instrumento de gestão de recursos hídricos, denominado “enquadramento dos corpos d'água” foi criado para assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos usos definidos pela própria sociedade.

Normalizar a qualidade das águas através de padrões para os usos múltiplos desejados pela comunidade pressupõe o conhecimento de valores de referência.



A dificuldade em avaliar o padrão de emissão adequado para atender o padrão de qualidade de enquadramento é acentuada pelo fato de o rio ser intermitente.

## 1.2 Hipóteses

São hipóteses desta pesquisa:

H<sub>1</sub> – A qualidade das águas do rio Salgado, no trecho em estudo, encontra-se comprometida pela existência de concentrações dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em desacordo com a classe de enquadramento, estabelecida pela legislação em vigor;

H<sub>2</sub> – A intermitência da vazão dos rios na região semi-árida do Brasil dificulta, mas não impossibilita o processo de enquadramento dos mesmos;

## 1.3 Objetivos

É objetivo geral desta tese propor um método capaz de determinar o padrão de emissão de poluentes dado um padrão de qualidade adequado à capacidade de autodepuração de um rio em região tropical semi-árida.

### São objetivos específicos:

- i. Diagnosticar a qualidade das águas do Rio Salgado no trecho em estudo, identificando os parâmetros que excedam aos limites estabelecidos pela legislação em vigor;
- ii. Modelar o comportamento da autodepuração do Rio Salgado considerando-se os três parâmetros de poluição de maior relevância, detectados através do diagnóstico;
- iii. Analisar o impacto, na qualidade da água do Rio Salgado, de diversos padrões de emissão, sugerindo aquele a ser adotado na bacia;
- iv. Aplicar o método capaz de determinar o padrão de emissão para o rio Salgado – Ceará, no trecho entre a Fonte da Batateira, Crato e a Cachoeira de Missão Velha.
- v. Subsidiar a discussão sobre o enquadramento adequado para a bacia do Rio Salgado.

#### **1.4 Justificativa**

Diante do problema crescente causado pela poluição dos rios no semi-árido do Nordeste do Brasil, fazem-se necessárias pesquisas e ações concretas propondo metodologias para a gestão eficiente e participativa deste recurso.

A abordagem singular que aponta a falta de uma legislação e política de gestão e qualidade das águas específica para os corpos d'água intermitentes norteou esta pesquisa, visando determinar o padrão de emissão compatível com o padrão de qualidade escolhido para a bacia em estudo.

Os municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velha e Caririçu possuem 473.177 mil habitantes, concentrando a maior parcela da população da região do Cariri que atinge 800 mil habitantes, conforme, SEPLAG/IPECE 2007, o que demonstra sua importância para o estado.

O rio Salgado neste trecho encontra-se vulnerável à poluição hídrica, devido ao elevado número de atividades produtivas poluidoras e grande quantidade de efluentes domésticos, industriais e hospitalares, in natura, lançados no rio. Desta forma, os baixos valores de saneamento podem comprometer o ambiente e a saúde humana.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Evolução da legislação de águas no Brasil

A evolução histórica da política de recursos hídricos é *sui-generis*. O processo de partilha das águas da fonte da Batateira ocorrido em 1854 em Crato foi à primeira legislação de águas criada no estado do Ceará. Registra Antunes, *apud* SÁ (2001), que “a Constituição de 1824 foi omissa sobre o tema. Contudo, uma lei de 1º de outubro de 1828 atribuiu às Câmaras de Vereadores a competência legislativa sobre as águas”, legitimando conseqüentemente as escrituras das águas decorrentes deste ato jurídico.

A água, por ser indispensável à vida, é um bem insuscetível de apropriação privada. No entanto, águas que se situam ou passam em propriedade do domínio privado, ficam sujeitas à apropriação e à administração do proprietário desse domínio.

O Código das águas instituído em 16 de junho de 1934 é a lei mãe para o disciplinamento das águas no Brasil, porém esta sofreu profunda mudança de concepção, a partir da constituição de 1988.

A Constituição ora em vigor eliminou a figura do domínio particular de águas, reservando à União, nos termos do inciso III do art. 20 da Lei Maior, o domínio sobre os lagos, rios e quaisquer correntes de água que se encontrem em terrenos de seu domínio que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros Países, se estendam a território estrangeiro ou dele provenham. Destinou, em consonância com o inciso I do art. 26 da Constituição, aos Estados Federados o domínio sobre as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito. Assim, pertencem aos Estados os lagos e os rios que tenham nascente e foz no seu território.

Hoje, o Estado e a sociedade têm o direito e o dever da gestão desse importante recurso da natureza. A aplicação dos instrumentos de gestão não deve caracterizar ação mercantilista, pois o bem é de domínio público, cabendo ao Estado o papel de administrar, zelar, controlar e fiscalizar, a quantidade, a qualidade, a posse e o uso dos recursos hídricos (SOUZA, 1995).

Em 15 de janeiro de 1976 foi publicado o primeiro instrumento normativo sobre classificação qualitativa de água bruta no Brasil, através da Portaria 013 do Ministério do Interior. Posteriormente, em 07 de Dezembro de 1976, a Portaria 536 estabeleceu os padrões de qualidade das águas superficiais no território brasileiro.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução 03 de 05 de Junho de 1984, aprovada em 20 de julho do mesmo ano, determina à sua secretaria executiva que promova estudos sobre o assunto e apresente proposta de resolução reformulando a Portaria 013.

Atendendo à recomendação, dois anos após, é publicada a Resolução CONAMA 020 de 18 de Junho de 1986, estabelecendo a classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional.

Consolidando a água como um direito de domínio público, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997, reconheceu ainda que a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico determinando seu uso prioritário, em situações de escassez, e que sua gestão deve sempre proporcionar seu uso múltiplo.

Os principais instrumentos de gestão de água legalmente instituídos no Brasil pela Lei 9.433/97 são (i) a outorga de uso da água; (ii) a cobrança pelo uso da água; (iii) os sistemas de informações; (iv) os planos de bacias hidrográficas; e (v) o enquadramento dos corpos d'água.

Tais instrumentos não podem ser utilizados isoladamente, pois são complementares entre si. O enquadramento das águas é indispensável para subsidiar a outorga e a cobrança, tornando efetiva a execução do plano de bacia. No entanto, há uma dicotomia qualidade *versus* quantidade das águas, representada pela separação das áreas de meio ambiente (qualidade das águas) e recursos hídricos (quantidade das águas). Nesse sentido, a Lei 9.433/97 estabelece um avanço ao determinar em seu art. 3º diretrizes gerais de ação garantindo que a gestão da água se dê sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade.

Recentemente a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, editada em substituição à Resolução CONAMA 020, dispôs sobre a classificação e as diretrizes

ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabeleceu as condições e padrões de lançamento de efluentes. Esta Resolução classifica as águas doces em:

Classe I: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

Classe II: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aqüicultura e à atividade de pesca.

Classe III: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais.

Classe IV: águas que podem ser destinadas à navegação e à harmonia paisagística.

Em parte, um dos motivos da pouca aplicação do instrumento “enquadramento” se deve à própria deliberação que prevê e considera todos os corpos d’água em Classe II (de acordo com a resolução CONAMA 357/05) até que sejam enquadrados.

Se, por um lado, a referida resolução procurou respeitar as diferenças de cada bacia hidrográfica com suas peculiaridades, por outro, considera todos os corpos d’água como Classe II sem fixar um prazo para o efetivo enquadramento, consolidando-se como uma regra que afirma a não obrigatoriedade de realização do enquadramento e influencia a existência de diversos problemas como a falta de padrões de referência para o monitoramento da bacia.

## 2.2. Modelagem de Qualidade de água

Modelos de simulação de qualidade de água e transporte de poluente são normalmente categorizados como mecanicista ou empírico. Modelos mecanicistas estão baseados na formulação matemática com uma ou mais equações que descrevem o fenômeno. O objetivo é que o modelo mecanicista seja uma correta, embora simplificada, descrição do sistema de interesse.

Em contraste, um modelo empírico está baseado em um resumo estatístico de dados de observação. Em modelos empíricos, a descrição do fenômeno correta é de interesse secundário para estimação de parâmetros.

Conforme Schnoor et al. (1987 *apud* Reckhow, 1994), são selecionados freqüentemente parâmetros baseados em análise de sensibilidade e o modelo é finalmente julgado adequado baseado em uma comparação entre predições e observações, sendo que a otimização formal matemática normalmente não é envolvida.

Estimativa de parâmetro em modelos de qualidade de água empíricos tem tradicionalmente sido empreendido usando métodos de otimização clássicos. Para os modelos mecanicistas, é a filosofia administrativa correta.

Até o final dos anos 80, nenhum modelo mecanicista de transporte de poluente incluía análise de incerteza. O significado da importância da análise de incerteza na tomada de decisão é abordado ao examinar modelos de transporte e qualidade de água de superfície.

O valor dos modelos mecanicistas de transporte e qualidade de água de superfície foi definido por Reckhow (1994):

1. Acredita-se que estes modelos são úteis para o gerenciamento da qualidade de água, visto que o crescente número de usuários, cientistas e engenheiros do Estado e de Agências regionais, que são a maioria dos usuários comuns de modelos de simulação de qualidade de água, usam os grandes modelos mecanicistas freqüentemente para administrar a qualidade de água.
2. Muitos gerentes e tomadores de decisão sem treinamento técnico em modelagem de qualidade de água tendem a favorecer o uso destes grandes modelos mecanicistas para decisões de administração na convicção que renderá mais e será mais preciso.
3. Predições detalhadas, custo de aplicação e dificuldade no entendimento dos resultados do modelo parecem ter conduzido no final das contas a uma visão equivocada.

Foram raros os estudos de caso no qual um modelo mecanicista de qualidade de água de superfície diferente do QUAL2E, lançado por BROWN e BARNWELL (1987), ajudou na tomada de decisão com predições consistentes.

O modelo QUAL2E possui várias vantagens: requer apenas dados hidráulicos parciais; não requer quantias grandes de dados; pode simular algas (clorofila – A); inclui análise de incerteza automática; está disponível gratuitamente; é largamente aplicado em uma gama extensiva de exercícios de modelagem de qualidade de água, tendo sido usado por: BROWN e BARNWELL (1987); CHAUDHURY et al. (1998); CHEN e ADAMS (2007); CIRAVOLO et al (2000); COX (2003); FRITZSONS et al (2003); GASTALDINI et al (2002); KANNEL et al (2007); MAILLARDA e SANTOS (2008); NING et al (2001); PALIWAL (2006); PALMIERI e CARVALHO (2006); PARK e LEE (2002); RECKHOW (1994); RIBAROVA et al (2008); STAPLETONA et al (2008); SPERLING (1996); XIA e SHAO (2008).

Porém, o modelo não é completamente aceito em alguns países, começando pelo Reino Unido, porque não pode prover percentuais de fluxo ou concentração em um trecho, por não possuir nenhum componente estocástico, conforme COX (2003).

Por outro lado, o QUAL2E é um modelo versátil para qualidade de águas correntes, permitindo a simulação de até 15 parâmetros associados à qualidade de água, em qualquer combinação desejada pelo usuário, sejam eles: oxigênio dissolvido; demanda bioquímica de oxigênio (DBO); temperatura; concentração de biomassa algal (sob a forma de clorofila); nitrogênio orgânico; amônia; nitrito; nitrato; fósforo orgânico; fósforo dissolvido; coliformes; elemento não-conservativo arbitrário; e até três elementos conservativos.

O modelo se aplica a correntes bem misturadas e considera os principais mecanismos de transporte – difusão e advecção – significantes apenas ao longo da principal direção do fluxo (eixo longitudinal). Sua utilização se estende à presença de descargas poluidoras múltiplas, pontos de retirada e fluxos de afluentes na corrente em estudo.

Hidraulicamente, o QUAL2E é limitado a simulações em períodos de tempo nos quais o fluxo da corrente estudada e as descargas de efluentes na bacia são constantes.

Quando operado em estado estacionário, pode ser usado para estudo do impacto de cargas poluidoras (magnitude, qualidade e localização) na qualidade do corpo receptor.

Dinamicamente, o modelo permite estudar tanto os efeitos de variações diárias de dados meteorológicos na qualidade da água quanto as variações provocadas no oxigênio dissolvido devido ao crescimento e respiração de algas (BROWN e BARNWELL, 1987).

O QUAL2E permite a simulação de qualquer sistema fluvial ramificado e unidimensional. O primeiro passo para a utilização do modelo é executar a representação esquemática, que consiste na divisão do rio em trechos com características hidráulicas constantes. Cada trecho é então subdividido em elementos computacionais (ECs) de igual comprimento, tal que todo o rio seja igualmente dividido. Todos os trechos devem conter um número inteiro de ECs.

O QUAL2E comporta sete tipos diferentes de ECs: 1. Elemento de cabeceira (H); 2. Elemento padrão (S); 3. Elemento imediatamente a montante de uma junção (U); 4. Elemento de junção (J); 5. Último elemento do sistema (E); 6. Elemento de entrada pontual (P); 7. Elemento de retirada (W).

A grande maioria dos modelos matemáticos para qualidade de águas de rios utiliza a aproximação de transporte unidimensional, o que é, de certa forma, bem razoável, considerando-se a própria natureza do fluxo de águas em rios que se dá principalmente no sentido longitudinal. Sendo assim, o transporte neste sentido prevalece, em detrimento dos demais.

A equação básica resolvida pelo QUAL2E é, portanto, a de transporte de massa unidimensional, a qual é numericamente integrada no espaço e no tempo para cada um dos componentes de qualidade de água. Esta equação inclui os efeitos de advecção, dispersão, diluição, reações e interações entre os componentes, além das fontes e sumidouros. Para cada componente, a equação pode ser descrita da seguinte forma:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial(A_x D_L \frac{\partial C}{\partial x})}{\partial x} dx - \frac{\partial(A_x \bar{u} C)}{\partial x} dx + (A_x dx) \frac{dC}{dt} + s \quad (01)$$

Em que:

M é a massa (M);

x é a distância (L);

t é o tempo (T);



$C$  é a concentração ( $ML^{-3}$ );

$A_x$  é a área da seção transversal ( $L^2$ );

$D_L$  é o coeficiente de dispersão longitudinal ( $L^2T^{-1}$ );

$\bar{u}$  é a velocidade média ( $LT^{-1}$ );

$s$  é fonte ou sumidouro externo ( $MT^{-1}$ ).

Se  $M = V.C$ , pode-se escrever:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial(VC)}{\partial t} = V \frac{\partial C}{\partial t} + C \frac{\partial V}{\partial t} \quad (02)$$

Se for suposto que o fluxo volumétrico  $Q$  no trecho é estacionário, isto é,  $(\partial Q/\partial t)=0$ ,

conseqüentemente o termo  $(\partial V/\partial t)=0$ , e a equação (02) fica:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = V \frac{\partial C}{\partial t} \quad (03)$$

Combinando as equações (01) e (03) e rearranjando-as,

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial(A_x D_L \partial C/\partial x)}{A_x \partial x} - \frac{\partial(A_x \bar{u} C)}{A_x \partial x} + \frac{dC}{dt} + \frac{s}{V} \quad (04)$$

Os termos à direita da equação (04) representam, respectivamente, a dispersão, a advecção, alterações dos constituintes e fontes/sumidouros externos. O termo  $dC/dt$  se refere somente às alterações dos constituintes, tais como crescimento e decaimento e não deve ser confundido com o termo  $\partial C/\partial t$ , o gradiente de concentração local, ou taxa de acumulação de massa.

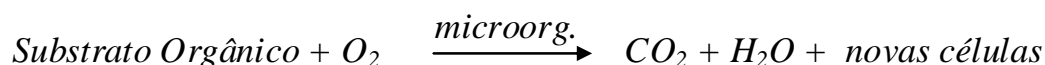
Em condições estacionárias a derivada local é igual a zero, ou seja  $\partial C/\partial t = 0$ . As alterações individuais sofridas pelos constituintes estão definidas no termo  $dC/dt$ . Estas incluem reações e interações químicas, físicas e biológicas que ocorrem no sistema, como a reaeração, fotossíntese e respiração das algas e outras.

Como o QUAL2E opera em regime estacionário, ou seja, o componente temporal  $\partial Q/\partial t = 0$ , o balanço hidráulico para um elemento computacional pode ser escrito da seguinte forma:

$$\left( \frac{\partial Q}{\partial x} \right)_i = \sum_i Q_x \quad (05)$$

em que o termo à direita representa a soma dos fluxos de entrada e retirada do respectivo elemento.

O conceito de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), conforme Sperling (1996), está intimamente relacionado ao oxigênio dissolvido (OD) em um dado meio aquático natural: é a utilização, por microorganismos, do oxigênio dissolvido no corpo aquático para a decomposição do substrato orgânico do corpo e ainda para a oxidação do nitrogênio e espécies minerais na forma reduzida de um dado efluente. O termo DBO pode ser também aplicado ao próprio substrato. A reação química predominante pode ser apresentada na forma mais geral por:



O termo DBO é normalmente utilizado em engenharia ambiental para caracterizar o grau de poluição em rios, lagos e efluentes sob condições aeróbias, já que, inversamente, a concentração de oxigênio dissolvido é o fator que determina o grau de saúde de um sistema aquático.

É uma prática comum a medida da DBO através de um teste de 5 dias, isto é, a demanda biológica de oxigênio em 5 dias é obtida através de um experimento de laboratório em batelada e representada pelo termo  $DBO_5$ . Apesar de a  $DBO_5$  ser um método conveniente para uma estimativa de DBO, sabe-se que obtem-se resultado mais preciso após cerca de 20 dias. A  $DBO_{20}$  representa, portanto, a DBO total do corpo aquático (BOWIE *et al.*, 1985).

A representação cinética da reação mencionada tem sido alvo de estudo de diversos pesquisadores ao longo dos anos, sempre na busca de melhor prever o potencial de degradação de um efluente em um dado sistema natural. Entretanto, a maioria dos modelos desenvolvidos para a cinética de DBO são baseados na equações propostas por Streeter e Phelps, em 1925.

O modelo de Streeter e Phelps (1925); ver também Chapra (1997), representa o balanço entre OD e DBO de forma bastante simplificada, considerando a decomposição do substrato orgânico - ou consumo de oxigênio no processo - e a simultânea dissolução de oxigênio do ar para a água, na tentativa de restabelecer a concentração de oxigênio no sistema, vital para a vida aeróbia aquática. O modelo, cuja explicação pode ser também encontrada em Chapra (1997), consiste em um sistema de equações diferenciais ordinárias de primeira ordem:

$$\frac{dO}{dt} = -k_1L + k_2(O^* - O) \quad (06)$$

$$\frac{dL}{dt} = -k_1L \quad (07)$$

Em que:

O é a concentração de OD ( $M.L^{-3}$ );

$O^*$  é a concentração de saturação de oxigênio em água, a dada temperatura ( $M.L^{-3}$ );

L é a DBO ou concentração de substrato do sistema ( $M.L^{-3}$ );

$k_1$  é o coeficiente de desoxigenação ( $T^{-1}$ );

$k_2$  é o coeficiente de reaeração ( $T^{-1}$ ).

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) em rios é controlada por diversos fatores, tais como a reaeração atmosférica, fotossíntese, respiração de plantas e animais, demanda sedimentar, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrificação, salinidade e temperatura.

Quanto maior for o número de interações consideradas no balanço de oxigênio, mais apurado será o modelo. O QUAL2E inclui as mais importantes interações dos ciclos de nutrientes, produção de algas, demanda sedimentar e carbonácea de oxigênio, aeração atmosférica e seus efeitos no comportamento do oxigênio dissolvido (BROWN e BARNWELL, 1987).

Os coliformes e elementos não conservativos são modelados isoladamente através do decaimento de primeira ordem e não interagem com os demais constituintes. Os elementos conservativos não decaem, tampouco interagem com o restante do sistema, somente sofrem o efeito da diluição.

Neste trabalho estarão descritas somente as interações de maior interesse e foco de estudo, estando as demais correlações e/ou reações expostas detalhadamente em BROWN e BARNWELL (1987).

O QUAL2E supõe uma reação de primeira ordem para descrever a desoxigenação do sistema devido à demanda bioquímica total de oxigênio (Equação 08). O parâmetro DBO, no modelo, leva em conta não só a remoção de matéria orgânica devido ao consumo de oxigênio por microorganismos, como também devido à sedimentação, arraste e floculação, fatores que não exercem uma demanda de oxigênio.

$$\frac{dL}{dt} = -k_1 L + k_3 L$$

(08)

*Em que:*

L é a concentração de DBO carbonácea ( $M.L^{-3}$ );

$k_1$  é o coeficiente cinético de desoxigenação, dependente da temperatura ( $T^1$ );

$k_3$  é a taxa de perda de DBO devido à sedimentação, dependente da temperatura ( $T^1$ ).

O modelo simula valores de DBO total ou  $DBO_{20}$ , mas o usuário pode, eventualmente, trabalhar com dados de  $DBO_5$ . Neste caso, o programa faz a conversão através da Equação 09:

$$DBO_5 = DBO_{20} [1,0 - \exp (5 * K_{DBO})] \quad (09)$$

Em que,

$K_{DBO}$  é a constante de conversão, igual a  $0,23 \text{ dia}^{-1}$ .

A capacidade de um sistema se reaerar é uma função dos processos de advecção e difusão que ocorrem dentro do sistema e das fontes internas de geração e remoção de oxigênio. O QUAL2E considera como principais fontes de geração a própria reaeração atmosférica, a fotossíntese das algas e o oxigênio contido no fluxo de entrada. Já as fontes de remoção incluem a oxidação de matéria orgânica carbonácea e nitrogenada, demanda sedimentar de oxigênio e a respiração de algas (FISCHER, 1995).

A equação diferencial utilizada pelo QUAL2E para descrever as alterações na concentração de oxigênio dissolvido no sistema é dada pela Equação (10):

$$\frac{dO}{dt} = k_2 (O^* - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\rho) A - k_1L - k_4/d - \alpha_5\beta_1N_1 - \alpha_6\beta_2N_2 \quad (10)$$

Em que:

$k_2$  é a taxa de reaeração, de acordo com a difusão de Fick, dependente da temperatura ( $T^{-1}$ );

$\alpha_3$  é a taxa de oxigênio produzido por fotossíntese, por unidade de alga (mg-O/mg-A);

$\alpha_4$  é a taxa de remoção de oxigênio por unidade de alga respirada (mg-O/mg-A);

$\alpha_5$  é a taxa de remoção de oxigênio por unidade de oxidação de amônia (mg-O/mg- N);

$\alpha_6$  é a taxa de remoção de oxigênio por unidade de oxidação de nitrito (mg-O/mg-N);

$\mu$  é a taxa de crescimento de algas, dependente da temperatura ( $T^{-1}$ );

$\rho$  é a taxa de respiração das algas, dependente da temperatura ( $T^{-1}$ );

$A$  é a concentração de biomassa algal ( $M.L^{-3}$ );

$k_4$  é o coeficiente cinético da demanda bentônica de oxigênio, dependente da temperatura ( $M.L^{-2}.T^{-1}$ );

$\beta_1$  é o coeficiente cinético da oxidação de amônia, dependente da temperatura ( $T^{-1}$ );

$\beta_2$  é o coeficiente cinético da oxidação de nitrito, dependente da temperatura ( $T^{-1}$ );

$N_1$  é a concentração de amônia ( $M.L^{-3}$ );

$N_2$  é a concentração de nitrito ( $M.L^{-3}$ ).

O coeficiente de reaeração  $k_2$  é, freqüentemente, expresso como função da profundidade do canal e velocidade. O QUAL2E disponibiliza sete opções para a estimativa dos valores de  $k_2$ . Os autores citados são referenciados por Brown e Barnwell (1987). O'Connor e Dobbins, em 1958, propuseram equações baseadas nas características turbulentas do rio. Para baixas velocidades e condições isotrópicas a Equação (11) descreve  $k_2$ .

$$k_2 = \frac{(Dm \cdot \bar{u})^{0,5}}{d^{1,50}} \quad (11)$$

Em que,  $Dm$  é o coeficiente de difusão molecular.

Diversos autores têm utilizado o modelo QUAL2E para predizerem cenários e definir as possíveis alternativas para a gestão da qualidade de água.

Chaudhury et al. (1998) calibraram o QUAL2E para o rio Blackstone, no noroeste dos EUA, utilizando dados de estiagem levantados em 1991. Os efeitos de fotossíntese algal, demanda bentônica e nitrificação foram adicionalmente considerados, o que permitiu uma validação muito bem sucedida para identificar previamente os efeitos de uma alocação pontual de descarga de poluentes no rio.

Ciravolo et al. (2000), aplicou o modelo para o rio Simeto, na região da Sicília, Itália. O trabalho seguiu a calibração e validação através de simulações de possíveis cenários, visando avaliar os efeitos de tratamento de descargas poluentes e reciclagem de efluentes municipais na agricultura, de forma a atingir os limites legais de emissão. Foi possível desenhar indicações sobre a qualidade de água diante de diversos graus de depuração impostos, explorando a ferramenta de gerenciamento disponível no modelo.

O estudo feito por Ning et al. (2001) cobriu as bacias dos Rios Kao-Ping e Tseng-Wen no Sul de Taiwan. O Rio Kao-Ping, com aproximadamente 140 km, possui duas estações, a chuvosa e a seca. Embora a chuva esteja perto de 3.000 mm, mais de 90% se concentram na estação chuvosa. O período de maiores vazões acontece da primavera ao início do verão, devido aos impactos de monção e tufão. Durante o período de monção, o Rio Kao-Ping aumenta aproximadamente nove vezes o nível d'água com relação a estação seca.

A área de drenagem da bacia do Rio Kao-Ping foi planejada principalmente para produção agrícola de arroz, cana-de-açúcar, abacaxi e uma variedade de legumes. Porém, também contém várias atividades de engorda de pequenos e médios animais. Além das necessidades de produção agrícola e industrial, esta água também é essencial para consumo humano nesta área. Enquanto quatro reservatórios estão em operação na bacia Rio Tseng-Wen para armazenamento de água, nenhum existe na bacia do Rio Kao-Ping.

O estudo dos impactos da redistribuição de água e da poluição, bem como ações de prevenção da bacia do rio Kao-Ping foi feito usando o modelo QUAL2E com dados coletados entre 1998 e 1999. O modelo QUAL2E foi capaz de prever as concentrações de demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, fosfato-fósforo total e nitrogênio amoniacal. Sob condições extremas, nas áreas de baixo fluxo do rio Kao-Ping a concentração de  $N-NH_3$  poderia se elevar a 4 mg/L, DBO a 9mg/L, e fósforo a 7 mg/L.

Foi executado por Park e Lee (2002) um estudo de qualidade de água para gerenciamento de grandes rios onde fontes desnitrificantes fazem um papel importante na demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e nitrogênio.

O modelo foi baseado no QUAL2E da USEPA e várias modificações foram feitas no computador para superar limitações. O estudo esboçou mudanças que foram feitas no modelo se dirigindo a alguns problemas de qualidade de água, este demonstrou a aplicação do modelo para o Rio de Nakdong, Coréia.

As mudanças incluem alteração na estrutura computacional e adição de interações de novos constituintes, como conversão de morte de algas para DBO, desnitrificação e oxigênio dissolvido (OD). Para validação foram aplicadas as modificações de programa, QUAL2K e QUAL2E aos mesmos trechos de rio e foram comparados seus resultados. Os parâmetros de qualidade de água incluídos no modelo eram OD, DBO, nitrogênio, fósforo e clorofila-A.

Conforme Gastaldini et al. (2002), o modelo QUAL2E auxiliou o gerenciamento da qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil, utilizando os parâmetros: OD, DBO e coliformes termotolerantes em um horizonte de 10 anos. O diagnóstico mostrou baixo conteúdo orgânico, com elevados valores para OD e baixos valores de DBO. Os coliformes termotolerantes apresentaram valores inferiores a 1000 NMP/100mL, com tendência de aumento em direção à foz. A previsão futura da qualidade da

água foi baseada no cenário de vazão crítica e incremento das cargas poluidoras na bacia em 10 anos.

As concentrações futuras de OD, DBO e coliformes fecais mostraram uma sensível dependência dos esgotos domésticos lançados "in natura" nos afluentes do Rio Ibicuí.

Conforme Fritzsons et al. (2003), a variação na qualidade de água de um rio depende do regime hidrológico, principalmente da variabilidade do deflúvio. Foram analisados e comparados dados diários de qualidade de água e de vazão de 1998 a 1999 usando o modelo QUAL2E.

Os resultados mostraram que a qualidade das águas se alterou fortemente com a vazão, principalmente em relação a alguns parâmetros de qualidade, tais como turbidez, pH, alcalinidade, cor e matéria orgânica. Esta alta variabilidade foi relacionada ao deflúvio por meio de coeficientes de correlação.

As correlações encontradas foram fortes, denotando uma tendência, quando comparados intervalos de vazão com a média dos valores dos parâmetros. Com exceção do pH e da alcalinidade, todos os parâmetros tiveram seus valores elevados quando há aumento na vazão, o mesmo ocorrendo com o desvio padrão.

Paliwal (2006) descreve a utilidade de QUAL2E como o melhor em um pacote de programas de modelagem para avaliação de qualidade de água. Neste estudo, QUAL2E foi aplicado para determinar as cargas de poluição no rio Yamuna durante seu curso pela capital nacional do território de Delhi, Índia.

O estudo apontou, ao examinar diferentes resultados na qualidade da água do rio em quatro diferentes cenários de poluição, que era necessário tratar a descarga de drenos para o rio Yamuna, bem como era necessária a derivação de uma carga significativa para o canal de Agra para tratamento adicional.

Também foi estabelecido por este estudo que a manutenção de uma vazão de mais que  $10\text{m}^3/\text{s}$  no rio poderia ajudar a preservar a qualidade de água. Os resultados do modelo mostram claramente zonas poluídas no rio, sendo estes conectados com um Sistema de Informação Geográfico (GIS) e ainda submetidos à análise de erro e incertezas.

Conforme Palmieri e Carvalho (2006), foi desenvolvido estudo semelhante no rio Corumbataí, situado no Estado de São Paulo, Brasil, principal fonte de abastecimento para uma região altamente povoada tendo uma aptidão para usos múltiplos. Em 2000, toda a água



consumida pela cidade de Piracicaba (aproximadamente 320.000 habitantes) era proveniente deste rio. Por outro lado, a cidade de Rio Claro tem muitas indústrias situadas ao redor do Corumbataí e seus tributários. A maioria destas indústrias polui o ambiente, como fator agravante, há descarga também de uma quantia grande de esgoto doméstico.

Neste trabalho, o QUAL2E foi aplicado para prever a qualidade de água do rio Corumbataí. Primeiramente dividindo-se o rio em trechos com propriedades hidráulicas semelhantes e subdividindo estes trechos em elementos computacionais com a mesma extensão.

Taxas de fluxo, profundidades, temperaturas, cargas, local de poluição, fontes, concentrações de oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio foram medidos para formar o banco de dados georeferenciados para a qualidade de água do rio. Este banco de dados foi usado para alimentar a modelagem e determinar uma curva de qualidade de água do rio atual. Os coeficientes do modelo foram calculados por tentativa e erro até estar de acordo com os dados observados.

O modelo, calibrado com dados que correspondem a 1999 e validado com dados relativos a 2002, era eficiente para reproduzir as medidas. Uma análise de sensibilidade foi constituída, os coeficientes modelados e as curvas de qualidade de água foram mais sensíveis para o coeficiente de decaimento de demanda bioquímica de oxigênio.

### **2.3. Gestão das Águas e Enquadramento dos Corpos Hídricos**

Segundo Silveira et al (1999), no início da década de 20 no Brasil, se fez necessária a ampliação do parque de geração de energia para atender aos constantes aumentos de consumo, demandados pelo setor industrial.

A mudança de governo na década de 30 introduziu uma nova forma de administrar os recursos hídricos, que passaram a ser considerados como de interesse nacional.

Após a segunda guerra mundial, abriu-se novo ciclo de investimento em geração hidroelétrica. Este se acentuaria no final de 1970, com a projeção das maiores usinas hidroelétricas atualmente em operação no país (Itaipú e Tucuruí), construídas na década de 80.

A hegemonia política do setor elétrico sobre a gestão das águas foi demonstrada com a criação, em 1965, do Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAE) Lei 4904,

mais tarde denominado Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE (Decreto 63951/68). Até a criação da Secretaria de Recursos Hídricos (1995), este cumpria função de gestão das águas.

Até mesmo a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA – que estabeleceu os critérios para classificação das águas no país (Resolução CONAMA 20/86) foi baseada nos estudos realizados pelo DNAEE no início da década de 80.

Além disto, apesar da existência de um Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, a maior parte das estações hidrometeorológicas da rede nacional foi gerenciada pelo DNAEE para obter séries históricas de vazões para uso hidroelétrico.

Esta hegemonia só viria a ser afetada a partir da reestruturação política e administrativa, a partir da promulgação da Constituição de 1988.

Segundo Barth (1999), as cartas de Salvador (1987), Foz do Iguaçu (1989) e Rio de Janeiro (1991), emitidas pela ABRH, serviram como referência para a formulação das legislações estaduais e federal de recursos hídricos.

Setti et al. (2001) sugerem a existência de três modelos gerais de gestão aplicados aos recursos hídricos: o modelo burocrático, o modelo econômico-financeiro e o modelo sistêmico de integração participativa.

O modelo Burocrático estimula a centralização do comando e controle enquanto o modelo Econômico-financeiro privilegia o planejamento estratégico e tecnocrata.

Atualmente persegue-se o modelo sistêmico, no qual a descentralização seja compartilhada com os instrumentos econômicos, efetivando a gestão participativa.

Beierle (1998) analisou os modelos de gestão em função da participação social, gerencial, regulatória e popular, enfatizando que o poder social se faz exercer não só na escolha dos representantes, mas em todo o processo de tomada de decisão.

Lanna (2000), com base nas definições propostas por Beierle, concluiu que o modelo institucional adotado no Rio Grande do Sul para a gestão das águas é do tipo regulatório, apresentando o caso da legislação gaúcha em relação à federal.

Brannstrom (2001) realizou estudo junto ao Projeto Marca D'água, no qual constatou diferenças significativas de resultados de gestão entre três experiências institucionais distintas: a do Consórcio para Proteção Ambiental do Tibagi – na bacia do rio

Tibagi, estado do Paraná, a do Comitê dos rios Sorocaba e Médio Tietê, em São Paulo, e a Unidade Descentralizada de Gestão do rio Grande, na região oeste da Bahia.

Embora os principais instrumentos de gestão de águas ora vigentes no país sejam (i) a outorga de uso da água; (ii) a cobrança pelo uso da água; (iii) os sistemas de informações; (iv) os planos de bacias hidrográficas; e (v) o enquadramento dos corpos d'água, a que se convir que a outorga e a cobrança são os mais aplicados, evidenciando o valor econômico que a água possui em nossa sociedade.

Conforme SOUZA (1995), a implantação de um instrumento econômico que apresenta como principal objetivo a gestão dos recursos hídricos pode se tornar uma forma de arrecadação para implementar programas de controle e manutenção de qualidade e quantidade de água. No entanto, se o escopo é a gestão e não a arrecadação, os valores cobrados serão apresentados em função do comprometimento apresentado pelo corpo de água e o desejado para ele e não pela fatura a ser paga pelos projetos e pelas obras.

O primeiro tipo de sistema de classificação das águas superficiais foi desenvolvido na Europa, por volta de 1850. Esse sistema de qualidade de água baseava-se em parâmetros biológicos, considerando os diferentes tipos de organismos presentes em água poluída e em água limpa (Newman et al., 1994). Desde então, uma grande variação dos sistemas de classificação e enquadramento, com base em parâmetros físicos, químicos e biológicos surgiram no mundo.

Embora este seja um instrumento de gestão de águas, já conhecido mundialmente a certo tempo, existem poucas experiências com a implementação e aplicação de enquadramento no Brasil.

No Brasil, segundo a Lei Federal 9.433 / 97, o enquadramento dos corpos d'água tem por objetivo assegurar a qualidade requerida para os usos preponderantes, sendo mais restritivo quanto mais nobre for o uso pretendido e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

O enquadramento dos corpos d'água está baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir ou serem mantidos, para atender às necessidades da comunidade. Este se constitui no instrumento legal, sujeito a revisões periódicas, conforme evolução da situação da bacia.

Conforme ANA (2005), o panorama do Enquadramento dos corpos d'água no Semi-árido brasileiro é preocupante, pois afirma que vários estados do Nordeste do Brasil, como Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba, Bahia e Ceará não consideram o Enquadramento como um instrumento de suas Políticas Estaduais de Recursos Hídricos.

Vale a pena salientar que, no Ceará, a cobrança pela utilização e pela diluição, transporte e a assimilação de efluentes do sistema de esgotos e outros líquidos de qualquer natureza, deve considerar a classe de uso em que for enquadrado o corpo d'água.

Recentemente foi criada a Câmara Técnica de Enquadramento dos Corpos Hídricos – CTECH através da Resolução nº 001/2004, de 30 de março de 2004 do Conselho de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – CONERH, mostrando a necessidade da discussão e implementação deste instrumento no Estado.

O reflexo das ações desenvolvidas neste trabalho de tese foi consolidado através da aprovação, pelo Governo do Estado do Ceará com interveniência do Conselho de Políticas e Gestão do Meio Ambiente – CONPAM em 2007, do Projeto Piloto para o Enquadramento das Águas do Semi-Árido Brasileiro – Projeto Salgado, a ser aplicado na referida bacia.

### **3. ÁREA DE ESTUDO**

A Sub-bacia do Salgado, localizada no sul do Estado do Ceará, semi-árido do Nordeste do Brasil, possui uma área de 12.216 Km<sup>2</sup>, englobando 23 municípios da região do Cariri. O estudo de caso foi desenvolvido na Micro-bacia III da Sub-bacia do Salgado, ocupando uma área de 3.012 Km<sup>2</sup>, que compreende os municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velha e Caririaçu, conforme Figura 1, em um trecho de aproximadamente 50 km.

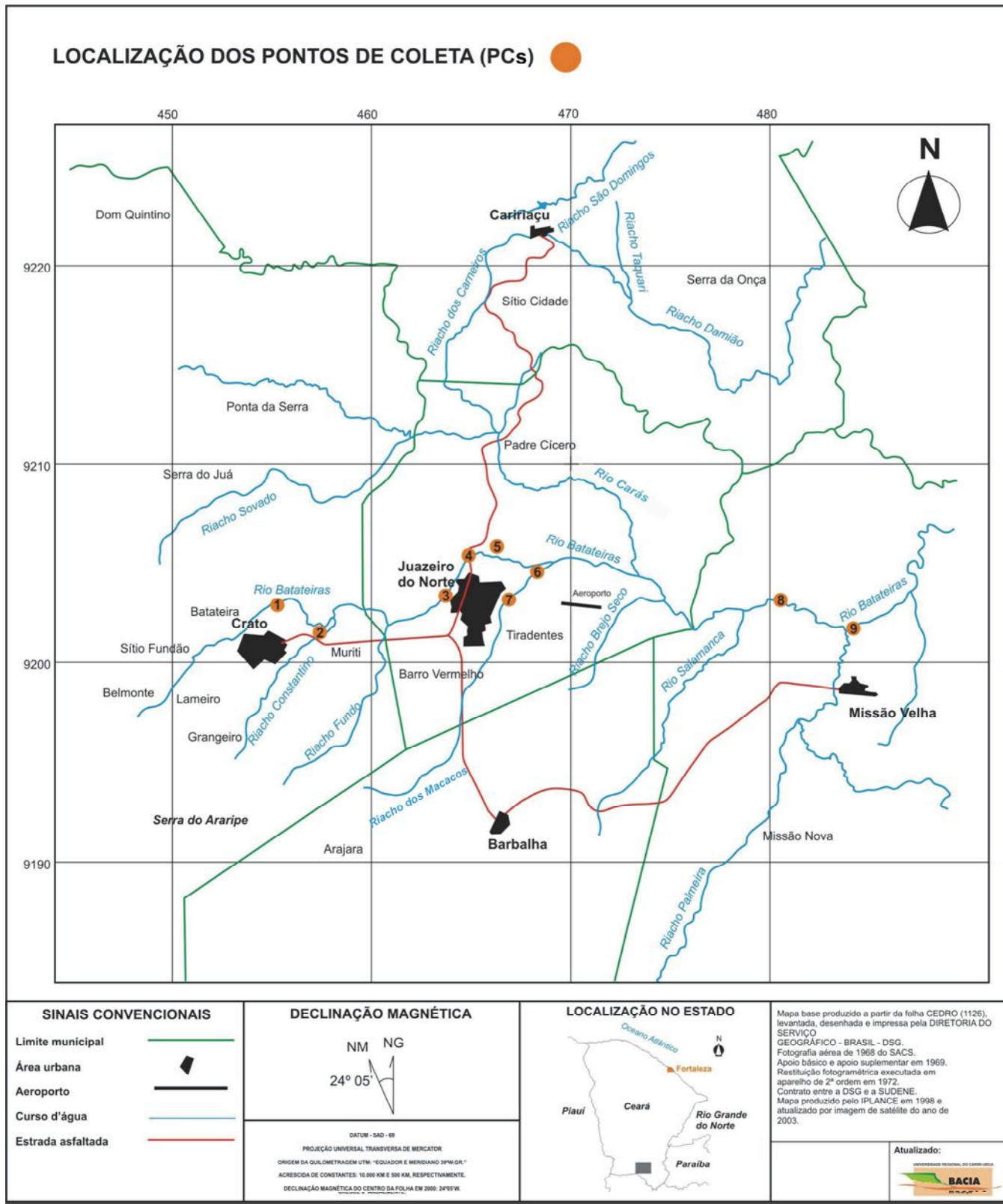


Figura 1. Cartograma georeferenciado da área de trabalho

Verifica-se peculiaridades nas políticas de gestão e tratamento dos efluentes pelos municípios da área de estudo, conforme Figura 2.



**(a) Imagem de satélite do rio Grangeiro cortando a zona urbana do Crato.**



**(b) Imagem de satélite da estação de tratamento de efluentes de Juazeiro do Norte**

Figura 2. Peculiaridades de Crato e Juazeiro do Norte no tratamento dos efluentes municipais.

Notadamente em Crato, os esgotos são lançados no rio Salgado através do canal do rio Grangeiro criado para a contenção de cheias. Este corta a cidade de Crato em um percurso de aproximadamente 1,6 Km e impermeabiliza áreas de encosta e de zona urbana.

Já em Juazeiro do Norte, a Estação de Tratamento de Esgoto – ETE, administrada pela CAGECE, possui um sistema de tratamento de lagoas de estabilização que deveria tratar os esgotos de 66% das residências do município, porém apenas 16% destas residências encontram-se ligadas ao sistema.

O riacho dos Macacos se estende ao longo do Parque Ecológico das Timbaúbas, margeando a bateria de poços que abastece a cidade. Este era perene, no entanto hoje é intermitente caracterizado pela poluição dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos.

A área da sub-bacia do Salgado aqui estudada possui 473.177 habitantes, correspondendo a 6,36 % da população do Estado, em 3.012 Km<sup>2</sup>, representando cerca 2,02 % do território cearense. O pólo industrial localizado nesta bacia é o maior do interior cearense representando 7,00 % das indústrias ativas do Ceará.

Os indicadores desta bacia confrontados com os do Estado do Ceará são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Indicadores socioeconômicos da área de estudo.

	População (2006)	Área territorial (Km <sup>2</sup> )	Abastecimento de água e Saneamento			PIB per capita (R\$ 1,00)	Indústrias Ativas	IDH
			Volume produzido (m <sup>3</sup> /ano)	Ligações				
				Água	Esgoto			
Ceará	7.430.661	148.830,00	-	1.149.633	367.532	3.618	13.369	0,69
Crato	115.087	1.009,20	-	-	-	3.071	183	0,71
Juazeiro do Norte	240.638	248,55	14.504.974	60.774	27.909	3.100	681	0,69
Barbalha	53.388	479,18	2.843.910	7.928	4.493	3.020	68	0,68
Missão Velha	35.068	651,11	820.452	3.563	156	1.770	-	0,63
Caririáçu	28.996	623,83	-	-	-	942	-	0,59
(%) sob o Estado	6,36	2,02	-	6,29	8,85	-	7,00	-

Fonte: Perfil Básico Municipal – SEPLAG/IPECE (2007)

A sazonalidade pluviométrica define duas estações climáticas: a estação chuvosa no período de janeiro a abril, quando se concentram cerca de 90% dos 1.020 mm anuais de precipitações e a estação seca que compreende o restante do ano.

O regime intermitente dos rios confere importantes aspectos para a análise da qualidade de água, visto que em períodos de estiagem, ao invés de água, alguns trechos contém apenas efluentes domésticos, industriais e/ou hospitalares.

A temperatura e a evaporação elevadas na maior parte do ano também influenciam a intermitência e a concentração de alguns poluentes, pois com baixas e irregulares precipitações o semi-árido brasileiro sofre o impacto com a falta de escoamento de água.



Vale a pena salientar que a existência de conexão hidráulica entre as águas superficiais e as águas subterrâneas foi confirmada por Mendonça (1996), em seu estudo realizado no Riacho dos Macacos, em Juazeiro do Norte.

O rio Salgado nasce na fonte da Batateira, no sopé da Chapada do Araripe, município de Crato. Denominado inicialmente por rio Batateiras, percorre áreas da encosta e da zona urbana do Município de Crato e recebe a contribuição do rio Grangeiro. Este, no município de Juazeiro do Norte, é denominado rio Salgadinho e recebe contribuições dos afluentes riacho dos Macacos e rio Carás, além de frigoríficos, curtumes, ourivesarias e lagoa de estabilização, que trata os efluentes do Município de Juazeiro do Norte, com vazão máxima de  $0,12\text{m}^3/\text{s}$ . O rio Salgado em Missão Velha recebe a contribuição do rio Salamanca, tendo como ponto limite da referida área a Cachoeira de Missão Velha.

O Comitê da Sub-Bacia Hidrográfica do Salgado (CSBH – Salgado) criado pelo Decreto nº 26.603 de 14 de maio de 2002 e instalado em 10 de julho de 2002, respeitando a política nacional de recursos hídricos, lei 9.433/97, baseado no modelo francês, dividiu os 23 municípios que compõem a sub-bacia em 5 (cinco) micro-bacias de acordo com suas peculiaridades para facilitar a sua gestão.

O Comitê é constituído por 50 instituições membros e está representado pelos seguintes segmentos: sociedade civil – 15 instituições; usuários – 15 instituições; poder público municipal – 10 instituições; poder público estadual e federal – 10 instituições; que têm como atribuições, definidas no Art. 2º do Capítulo II, através de seu regimento, as seguintes ações:

I – estimular a proteção e a preservação dos recursos hídricos e do meio ambiente contra ações que possam comprometer o uso múltiplo atual e futuro;

II – discutir e selecionar alternativas de enquadramento dos corpos d'água da bacia hidrográfica, proposto conforme procedimentos estabelecidos na legislação pertinente;

III – acompanhar a execução da política de Recursos Hídricos, na área de sua atuação, formulando sugestões e oferecendo subsídios aos órgãos ou entidades que compõem o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH;

IV – aprovar o Plano de Gerenciamento de Recursos Hídricos da bacia, respeitando as respectivas diretrizes:

- a) do comitê de Bacia do curso de água do qual é tributário, quando existente;
- b) do Conselho de Recursos Hídricos do Ceará – CONERH, ou do Conselho Nacional de recursos Hídricos – CNRH;

V – constituir grupos de trabalho, comissões específicas e câmaras técnicas, definindo, no ato de criação, sua composição, atribuições e duração.

A falta de vazão de referência para os rios intermitentes do semi-árido foi o desafio enfrentado por Medeiros et al (2008). Os autores usaram a modelagem hidrológica para estimar a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica visando simular cenários de qualidade da água. A metodologia usada para a obtenção de séries mais extensas de vazões nas mesmas seções monitoradas nesta tese, objetivou a análise de permanência das vazões (representação da variabilidade).

Nesse contexto, o estudo obteve curvas de permanência de vazões em seções do Rio Salgado, onde foi realizado o monitoramento da qualidade da água desta tese. Pretendeu-se associar as concentrações medidas dos diversos parâmetros de qualidade investigados com as vazões estimadas, possibilitando a modelagem e simulação para análise da qualidade das águas ao longo do Rio Salgado.

No entanto, dispõe-se de vazões medidas apenas em uma seção que fica 1,8 km a jusante da área de estudo, no posto fluviométrico Sítio Lapinha (código 36210000 da Agência Nacional de Águas – ANA).

Vislumbrou-se então, a possibilidade de realizar modelagem hidrológica na bacia contribuinte à seção de monitoramento de vazão, utilizando o modelo calibrado para estimativa de vazão nos demais locais desejados.

A calibração do modelo foi realizada com base na série de vazões observadas no posto fluviométrico Sítio Lapinha, que dispõe de dados diários referentes a um período de 41 anos de observação (1965 a 2005).

Buscou-se realizar modelagem simplificada, uma vez que há poucas informações da área referente a aspectos como vegetação e solo, por exemplo. Além disso, a modelagem a

passo diário utilizando modelos físicos é tarefa bastante desafiadora devido à grande diversidade de processos envolvidos.

Após devidamente calibrado para a bacia hidrográfica do posto fluviométrico Sítio Lapinha, o modelo foi utilizado para a estimativa das curvas de permanência de vazões em diversas seções do rio Salgado.

As seções definidas na modelagem hidrológica são as mesmas seções de qualidade da água monitoradas nesta tese, de forma que a associação das curvas de permanência aos parâmetros de qualidade possibilitem uma análise quali-quantitativa do rio Salgado em cenários diversos.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

Para se atingir os objetivos propostos foram seguidos, fundamentalmente, cinco passos. Inicialmente foi realizado reconhecimento da área de estudo. A seguir foi realizada a primeira fase do diagnóstico da qualidade de água do rio, com base na qual foram escolhidos os três parâmetros (OD, DBO, e Coliformes Termotolerantes) a modelar. O terceiro passo consistiu no diagnóstico do trecho em estudo por um ano com vistas à modelagem. O quarto passo foi o chamado “experimento social”, uma série de reuniões com membros do comitê de bacia para discussão sobre enquadramento do rio Salgado. Por fim foi realizada a modelagem: calibração, validação e simulação de diversos padrões de emissão.

### **4.1 Reconhecimento da área**

O reconhecimento da área de estudo foi feito entre os meses de abril e julho de 2005, a partir do mapeamento do rio Salgado e seus afluentes, que foram georreferenciados. Os pontos de lançamento de efluentes de toda a microbacia III, na Sub-bacia do Salgado foram cadastrados e georreferenciados.

Nesta etapa percorreu-se todo o trajeto do rio e afluentes observando-se: coordenadas geográficas; existência de lançamento; tipo e origem de lançamento; aspecto sanitário da circunvizinhança; largura do rio a cada contribuição e vazão de cada lançamento.

Foram registradas informações em fichas de campo, com a utilização de um aparelho GPS, trenas, máquina fotográfica digital e gravador portátil.

É importante frisar que esta etapa do trabalho de tese foi apoiado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, através da gerência da Área de Proteção Ambiental da Chapada do Araripe – APA Araripe.

### **4.2 Diagnóstico da qualidade de água (Fase I)**

Contemplando as peculiaridades da área, escolheram-se oito seções do rio para a coleta de amostras (ver Figura 4) com os seguintes critérios: proximidade de lançamentos de

efluentes domésticos, industriais e existência de contribuições de afluentes ou de retiradas significativas para a modificação do comportamento da vazão do manancial. Desta forma foram estabelecidas as seções descritas conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Seções do rio Salgado usadas para coleta de amostras de água bruta entre março e setembro de 2005.

SEÇÃO	COORDENADAS GEOGRAFICAS	LOCALIZAÇÃO
S1	0453466 lat. S 9201519 long. W	Entrando na cidade do Crato-Ponte Serrabella
S2	0457245 lat.S 9201887 long. W	Após contribuição do Grangeiro-Ponte Acimbel
S3	0462005 lat. S 9202210 long. W	Após Frigorífico Municipal de Juazeiro do Norte
S4	0464243 lat. S 9204151 long. W	Ponte do Horto
S5	0465914 lat. S 9205336 long. W	Lagoas de estabilização de Juazeiro do Norte
S6	0473515 lat. S 9204285 long. W	Contribuição do rio Carás
S7	0478759 lat.S 9202579 long W.	Contribuição do rio Salamanca
S8	0484107 lat. S 9201722 long. W	Cachoeira de Missão Velha

Foram realizadas seis campanhas no período de março a setembro de 2005. As datas das campanhas para coleta e análise de amostras de água estão discriminadas na Tabela 3.

Tabela 3. Datas das campanhas de coleta de amostras para realização de determinações físico-químicas e bacteriológicas.

CAMPANHA	DATA
1º	15.03.2005
2º	03.05.2005
3º	14.06.2005
4º	12.07.2005
5º	09.08.2005
6º	13.09.2005

Baseado na resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 analisaram-se 27 parâmetros em oito seções de monitoramento durante seis campanhas, totalizando 1.296 amostras de qualidade de água para identificar quais destes se encontravam fora dos limites estabelecidos, sendo, desta forma, prejudiciais à qualidade de vida, ao desenvolvimento sustentável e ao meio ambiente, conforme Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros analisados nesta pesquisa com limites e sem limites de acordo com a resolução CONAMA 357/05.

<b>Parâmetros Analisados</b>			
<b>Com limite regulamentado na Resolução CONAMA 357</b>	<b>Método de análise</b>	<b>Sem limite regulamentado na Resolução CONAMA 357</b>	<b>Método de análise</b>
Ph	Potenciométrico / Eletrométrico	Alcalinidade Carbonatada	Método da titulação potenciométrica
Oxigênio Dissolvido	Winkler modificado/ Iodométrico	Alcalinidade Bicarbonato	Método da titulação potenciométrica
Demanda Bioquímica de Oxigênio	Frascos Padrões	Alcalinidade total	Método da titulação potenciométrica
Nitrato	Método do salicilato de sódio	Condutividade elétrica	Método Eletrométrico
Nitrito	Método colorimétrico	Dureza total	Método titulométrico do EDTA
Nitrogênio Amoniacal	Método macro Kjeldahl	Cálcio	Método titulométrico do EDTA
Turbidez	Nefelométrico	Magnésio	Método titulométrico do EDTA
Cloretos	Método de Mohr	Nitrogênio orgânico	Método macro Kjeldahl
Sólidos Totais Dissolvidos	Método gravimétrico	Nitrogênio Total	Método macro Kjeldahl -
Clorofila A	Extração com Metanol	Ortofosfato solúvel	Método do ácido ascórbico
Fósforo total	Método do Ácido Ascórbico	Potássio	Absorção Atômica
Sulfato	Método turbidimétrico	Ferro total	Espectrofotométrico
Coliformes termotolerantes	Tubos Múltiplos	Coliformes totais	Tubos Múltiplos
		Sódio	Absorção Atômica

Os procedimentos para coleta e preservação das amostras estão discriminados em CEARÁ (2004), bem como todos os métodos utilizados para a análise de qualidade de água estão descritos em APHA (1995).

#### 4.3 Diagnóstico da qualidade de água (Fase II)

O resultado do Diagnóstico Fase I norteou a Fase II de monitoramento, definindo os parâmetros oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e coliformes termotolerantes como variáveis para a calibração dos parâmetros e validação do modelo.

Nesta fase foi monitorada a qualidade de água através dos parâmetros OD, DBO, Coliformes termotolerantes, Coliformes totais, pH, turbidez, condutividade elétrica, assim como temperatura da água e do ar em 14 seções, compreendendo as oito já definidas na Fase I (ver Tabela 4) e sete seções adicionais definidas na Tabela 5.

Tabela 5. Seções adicionais do rio Salgado usadas para coleta de amostras de água bruta na segunda fase do diagnóstico.

Pontos	Localização
SS1	Seção entre S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub>
SS2	Contribuição do rio Grangeiro entre S <sub>1</sub> -S <sub>2</sub>
SS3	Contribuição do Curtume entre S <sub>3</sub> -S <sub>4</sub>
SS4	Contribuição do Riacho dos Macacos
SS5	Contribuição do rio Carás entre S <sub>5</sub> -S <sub>6</sub>
SS6	Contribuição do rio Salamanca

Foram realizadas 18 campanhas de monitoramento da qualidade da água, sendo seis na Fase I, realizadas entre março e setembro 2005 e 12 na Fase II, realizadas entre fevereiro de 2006 e janeiro de 2007 com periodicidade mensal. Ao todo, na Fase II do diagnóstico da qualidade de água foram realizadas doze campanhas em 14 seções, analisando-se nove parâmetros de qualidade de água, totalizando 1.512 análises. As datas das Campanhas da Fase II estão discriminadas na Tabela 6.

Tabela 6. Campanhas realizadas na fase II.

Campanha	Data
7 <sup>o</sup>	09.02.06
8 <sup>o</sup>	09.03.06
9 <sup>o</sup>	06.04.06
10 <sup>o</sup>	18.05.06
11 <sup>o</sup>	20.06.06
12 <sup>o</sup>	18.07.06
13 <sup>o</sup>	15.08.06
14 <sup>o</sup>	21.09.06
15 <sup>o</sup>	19.10.06
16 <sup>o</sup>	16.11.06
17 <sup>o</sup>	12.12.06
18 <sup>o</sup>	16.01.07

#### 4.4 Experimento social

Cooperando com as atribuições do Comitê da Sub-bacia do Salgado, desenvolveram-se ações para subsidiar a discussão sobre o enquadramento da microbacia III, da Sub-bacia do Salgado.

Partiu-se da premissa que a tomada de decisão deva ser participativa e reflexiva acerca do Enquadramento adequado à bacia em estudo, fundamentada na Lei Nº 9.433/97, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, e em seu artigo 1º estabelece que “a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades”.

Através de um processo participativo envolvendo os Poderes Públicos Municipal, Estadual, Federal, usuários e sociedade civil, este trabalho fomentou a discussão em torno da qualidade e dos usos preponderantes das águas da referida microbacia. Foram realizadas duas reuniões com os membros do Comitê da Sub-bacia do Salgado.

Na primeira se discutiu o que é Enquadramento e qual a sua importância para a gestão. Como encaminhamento da reunião foi formado um grupo de trabalho que foi responsável pela discussão sobre o enquadramento da microbacia em estudo (ver Figura 3).





Figura 3. Reunião do CSBH – Salgado realizada no dia 08 de março de 2007 no município de Barros-CE, na qual foram iniciados os trabalhos deste experimento social.

O grupo de trabalho definiu os pontos críticos e o questionário (ver anexos) a ser submetido à sociedade civil dos Municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha, bem como aos membros do referido Comitê.

No segundo encontro foram apresentadas as contribuições de cada ator social membro do grupo de trabalho, informações que irão trazer subsídio para a deliberação do Enquadramento.

A contribuição para o gerenciamento das intervenções nas áreas de estudo dar-se-á a partir da identificação dos impactos e de sugestões mitigadoras, culminando com a sugestão do enquadramento para a microbacia em estudo.

## 4.5 Modelagem de qualidade de água

### 4.5.1 Calibração dos parâmetros

A etapa de discretização do sistema, ou seja, a divisão do rio em trechos, foi executada com a divisão do rio em cinco trechos, com elementos computacionais (ECs) de 1 km, totalizando 50 km.

Para o modelo QUAL2E, a segmentação do rio em trechos requer a premissa de características hidráulicas (vazão, profundidade e velocidade) semelhantes entre um grupo de EC's para que sejam reunidos e denominados como um trecho.

Os parâmetros do modelo QUAL2E referentes à simulação de DBO, OD e Coliformes Termotolerantes, são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7. Parâmetros do modelo QUAL2E a serem avaliados na modelagem do rio Salgado

Variável	Discriminação	Unidade
$K_1$	Coeficiente de Decaimento de DBO	$\text{dia}^{-1}$
$K_2$	Coeficiente de Reaeração	$\text{dia}^{-1}$
$K_3$	Coeficiente de Sedimentação de matéria orgânica	$\text{dia}^{-1}$
$K_4$	Coeficiente de Demanda Bioquímica de Oxigênio de Sedimento	$\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$
$K_5$	Coeficiente de Decaimento de coliformes	$\text{dia}^{-1}$

A Figura 4 aponta a localização dos trechos, entradas e seções de coleta.

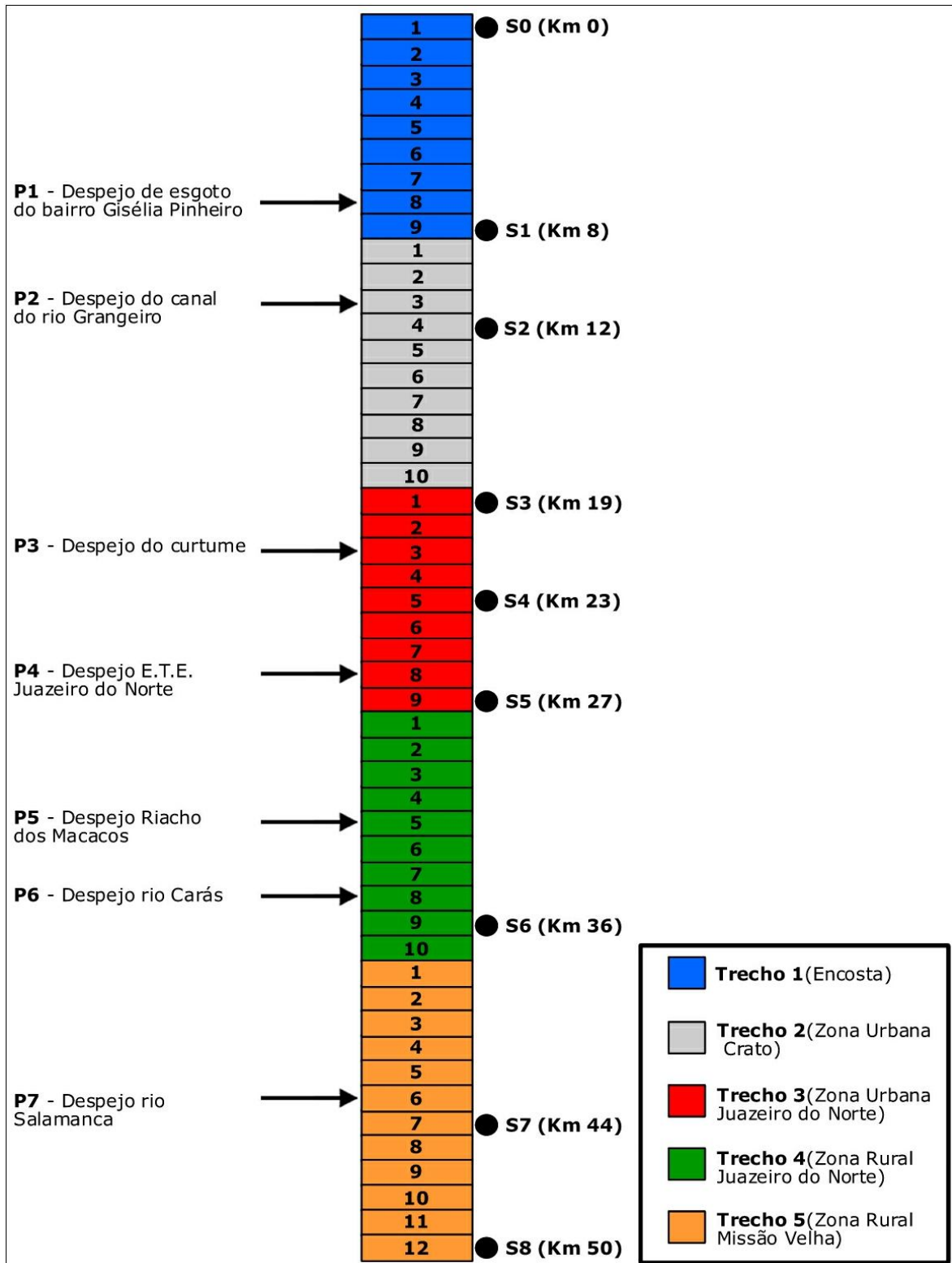


Figura 4. Diagrama de trechos, elementos computacionais (EC), entradas e seções de monitoramento no Rio Salgado.

Alguns valores recomendados para cinco parâmetros do modelo QUAL2E na literatura estão mostrados na Tabela 8, indicando quem os recomenda e para que tipo de região foram usados.

Tabela 8. Coeficientes aplicados em diversos estudos de caso utilizando o modelo QUAL2E

Autores	Parâmetro	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
	Unidade	dia <sup>-1</sup>	Dia <sup>-1</sup>	dia <sup>-1</sup>	g/m <sup>2</sup> dia <sup>-1</sup>	dia <sup>-1</sup>
	Parâmetro relacionado	DBO	OD	DBO	OD	Coliformes Termotolerantes
Araújo (2005)	Rio Jaguaribe (CE-Brasil)	0.09 a 0.23	-	-	-	0.50 a 1.00
Palma (1999)	Rio Corumbataí (SP-Brasil)	0.02 a 3.40	-	-0.36 a 0.36	0.50 a 5.00	-
Gastaldini (2002)	Rio Ibicuí (RS-Brasil)	0.10 a 0.90	-	-	-	0.05 a 4.00
Nung (2001)	Rio Kao-Ping (Taiwan)	0.10 a 0.30	-	0.00 a 1.00	-	-
Park (2002)	Rio Nakdong (Coréia)	0.20 a 0.40	-	0.05 a 0.98	-	-
Paliwal (2006)	Rio Yamuna (Índia)	5.30 a 0.02	-	-	-	-
Drouc (1996)	Rio Sava (Eslovênia)	1.50	7.38	-	15.00	-

Shanahan et al. (1998) discutem as principais dificuldades encontradas no processo de calibração dos modelos de qualidade de água. Os autores afirmam que um parâmetro de grande importância é o coeficiente de reaeração K<sub>2</sub>. Tipicamente, K<sub>2</sub> é tomado como uma função da temperatura e de parâmetros hidráulicos, como profundidade e velocidade. O modelo QUAL2E tem à sua disposição sete equações para estimar os valores de K<sub>2</sub>. Foi adotada para este estudo a equação de O'Connor e Dobbins (1958):

$$K_2 = 3,73 \cdot v^{0,5} \cdot H^{-1,5} \quad (12)$$

Em que:

$K_2$  = coeficiente de reaeração ( $\text{dia}^{-1}$ )

$v$  = velocidade ( $\text{m.s}^{-1}$ );

$H$  = profundidade (m).

Sperling (1996) recomenda a aplicação da equação (12) para a faixa de 0,6 a 4,0 m para a profundidade e 0,05 a 0,80 m/s para a velocidade, valores compatíveis com a área de estudo. Conforme ARAÚJO (1998) a equação de O'Connor e Dobbins (equação 12) para o parâmetro de coeficiente de reaeração conduziu a um erro muito baixo (cerca de 10%) na estimativa de OD e DBO no rio Cocó (Fortaleza, Ce), revelando sua eficiência para o rio estudado.

Como este trabalho não contempla análises de concentrações de sedimentos, os parâmetros  $K_3$  e  $K_4$  citados na Tabelas 8 não possuem relevância no processo de modelagem, tendo sido excluídos da calibração.

A calibração dos parâmetros do modelo QUAL2E foi feita para a campanha 2, realizada em 03 de Maio de 2005, utilizando-se os valores medidos de qualidade de água das seções de monitoramento do rio Salgado, e as vazões obtidas conforme Medeiros et al. (2008). A referida campanha foi a mais representativa durante a fase I, desenvolvida entre Março e Setembro de 2005, com as informações de qualidade de água e vazão gerando respostas satisfatórias para a calibração do modelo QUAL2E no rio Salgado.

Conforme Medeiros et al. (2008), foi realizada modelagem hidrológica como forma de estimar séries de vazões em seções pré-determinadas do Rio Salgado, visando reproduzir as vazões medidas no posto fluviométrico Sítio Lapinha, situado no mesmo rio a jusante da área de estudo.

Depois de validado para essa seção, o modelo pôde ser utilizado para a estimativa de vazões em locais diversos da bacia, admitindo-se que os processos dominantes na geração de escoamento são semelhantes em toda a área de drenagem contribuinte.

A metodologia simples, de fácil aplicação e parcimoniosa foi utilizada a partir da menor quantidade possível de parâmetros. Com base nos objetivos do estudo e na disponibilidade de dados, foram selecionados modelos empíricos para cada uma das fases do ciclo hidrológico contempladas na modelagem.

A simulação compreendeu um período de 19 anos (1986 a 2004), sendo os principais reservatórios existentes na bacia simulada, ou seja, Manoel Balbino e Thomas Osterne, considerados na modelagem.

A simulação do processo de transformação de chuva em deflúvio na bacia hidrográfica do posto fluviométrico Sítio Lapinha compreendeu a separação das parcelas de chuva que evaporam e infiltram da que escoam superficialmente, a geração de escoamento superficial na bacia hidrográfica contribuinte, o cálculo do escoamento de base e a propagação do escoamento na rede de drenagem.

Tal modelagem foi realizada a passo diário mediante o emprego do software HEC-HMS, (*Hydrologic Engineering Center / Hydrologic Modeling System*) desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Norte-Americano, ferramenta que possibilita a adoção de diversas metodologias para as diferentes etapas do ciclo hidrológico.

Inicialmente procedeu-se a divisão da área em sub-bacias, em um total de 44, com áreas variando de 5,3 a 102,2 km<sup>2</sup>.

A precipitação efetiva correspondente à parcela do total precipitado que gera escoamento superficial, foi estimada admitindo-se taxa constante para separação da parcela de chuva que infiltra e evapora da parcela que escoam superficialmente. Tal método representa o fenômeno de perdas de forma bastante simplificada, na qual somente precipitações a partir de um determinado valor pré-estabelecido são capazes de gerar escoamento.

Quanto à geração de escoamento superficial, utilizou-se o método da Onda Cinemática para estimativa dos hidrogramas em cada uma das sub-bacias. O escoamento se dá em função da saturação do solo ou devido a intensidade da precipitação superar a capacidade de infiltração.

O hidrograma na bacia foi calculado através da solução das equações que simulam fluxo não permanente em um canal aberto.

A bacia hidrográfica foi dividida em planos que direcionam o escoamento superficial à rede de drenagem. Nas vertentes, a vazão é calculada com base nas equações de momento e de continuidade, considerando-se fluxo unidimensional. As vazões afluentes aos rios principais constituem-se na soma das vazões geradas nas bacias de montante e na própria bacia.

Para as perdas por evaporação nos reservatórios superficiais, admitiu-se modelo simplificado como o empregado para cálculo das perdas diretas da precipitação, admitindo-se taxa constante e, nesse caso, igual à evaporação média diária.

Ressalta-se que o método descrito para geração e propagação dos escoamentos foi empregado a passo diário, intervalo esse compatível com os dados disponíveis de precipitação para a região de estudo.

A precipitação foi obtida do banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA, o qual disponibilizou dados diários de diversos postos pluviométricos no Brasil.

A evaporação média na região foi admitida igual ao valor indicado por DNMET (1992) para a cidade de Barbalha, correspondente a 2.289 mm/ano, o que equivale a uma lâmina diária de 6,3 mm. A referida evaporação foi utilizada no modelo de perdas dos reservatórios.

As informações topográficas foram obtidas de Modelo Digital do Terreno elaborado a partir de dados de elevação referentes ao Projeto SRTM – Shuttle Radar Topography Mission. Tais dados, obtidos através de radar, são disponibilizados pela EMBRAPA (Miranda, 2007) em uma malha de pontos altimétricos espaçados de 90 metros cobrindo todo o território nacional.

Os valores meteorológicos usados para a calibração dos parâmetros no rio Salgado estão discriminados na Tabela 10. Utilizou-se como referência as normais climatológicas (1961 a 1990) publicadas pelo Departamento Nacional de Meteorologia – DNMET, para a estação localizada no município de Barbalha – CE. (transpor esse parágrafo para pág, 52)

A Tabela 9 apresenta as vazões estimadas para diferentes permanências nas seções de monitoramento de qualidade da água por Medeiros et al. (2008).

Tabela 9. Vazões para permanências de referência nas seções de monitoramento de qualidade da água no rio Salgado.

Permanência	Vazão (m <sup>3</sup> /s)							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
5%	0,5	1,0	1,7	2,3	2,4	6,1	8,4	12,9
10%	0,3	0,5	0,8	1,3	1,4	3,7	5,3	7,7
25%	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	1,0	1,9	3,7
50%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,9
75%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
90%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
95%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Medeiros et al. (2008)

Tabela 10. Valores dos dados climatológicos usados na calibração do modelo QUAL2E para o rio Salgado

Variável	Valor	Unidade
Radiação solar	134,15	Langley/h
Temperatura bulbo seco	30,0	° C
Temperatura bulbo úmido	25,0	° C
Pressão barométrica	965	mbar

O modelo QUAL2E assume valores padrões para o coeficiente de conversão de DBO<sub>5</sub> para DBO última, o coeficiente de atenuação, o coeficiente de evaporação e o coeficiente de Manning que foram utilizados na calibração dos estudos avaliados na literatura. Utilizou-se o valor do coeficiente de dispersão empregado em Araújo (2005) para o rio Jaguaribe.

Os valores de coeficientes e taxas aplicados a essa calibração estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Valores dos coeficientes usados na calibração do modelo QUAL2E para o rio Salgado

Coeficiente utilizado	Valor correspondente
Conversão DBO <sub>5</sub> – DBO <sub>ult.</sub>	0,23
Coeficiente de atenuação	0,13
Coeficiente de evaporação	AE = 6,2 e <sup>-6</sup>
	BE = 5,5 e <sup>-6</sup>
Coeficiente de dispersão	200
Coeficiente de Manning	0,020

Fonte: QUAL2E Windows Interface User's Guide (1995)

Para a calibração do coeficiente de decaimento de DBO (K<sub>1</sub>) e para o coeficiente de decaimento de coliformes (K<sub>5</sub>) escolheu-se a função erro (equação 13) como a função-objetivo a ser minimizada no processo de calibração.

$$\varepsilon = (y_{\text{medido}} - y_{\text{simulado}})^2 \quad (13)$$

Em que:

$\varepsilon$  = função erro;



y = variável, dados em DBO (mg/L), OD (mg/L) ou logaritmo, na base 10, de Coliformes Termotolerantes NMP/100mL.

#### 4.5.2 Validação do Modelo QUAL2E

A validação do modelo QUAL2E para o rio Salgado foi realizada com o objetivo de avaliar se o modelo pode ser aplicado no rio em estudo, para fins de planejamento, reproduzindo com fidelidade o comportamento do corpo hídrico. Foram utilizados os dados das 12 campanhas realizadas no período de fevereiro de 2006 a janeiro de 2007.

A análise de validação foi realizada separadamente para os períodos úmido e seco. Observando-se que a vazão foi zero para o dia das campanhas entre julho e dezembro e que este comportamento se repetia em elevada frequência na série histórica da estação fluviométrica Sitio Lapinha, decidiu-se considerar o ano dividido em dois períodos: o período úmido de janeiro a junho e o período seco de julho a dezembro (ver Figura 5).



Figura 5. Comparativo da presença de água nos períodos úmido e seco na Cachoeira de Missão Velha, seção 8 da área de estudo.

No período úmido, baseado nas vazões medidas no sítio Lapinha, foram usados os valores referentes as datas das campanhas realizadas entre fevereiro a junho de 2006 e janeiro de 2007.

Os valores de vazão foram respectivamente: fev/06: 1.8 m<sup>3</sup>/s; mar/06: 1.0 m<sup>3</sup>/s; abr/06: 10.0 m<sup>3</sup>/s; mai/06: 1.7 m<sup>3</sup>/s; jun/06: 1.1 m<sup>3</sup>/s; jan/07: 0.6 m<sup>3</sup>/s.

Já para o período seco as vazões foram baseadas no modelo hidrológico definido por Medeiros et al. (2008). A vazão usada para esse período corresponde a vazão residual do rio Salgado, ou seja, o ponto crítico onde todas as seções possuem valor superior a zero. Esta vazão foi definida como 0,5 m<sup>3</sup>/s conforme Figura 6.

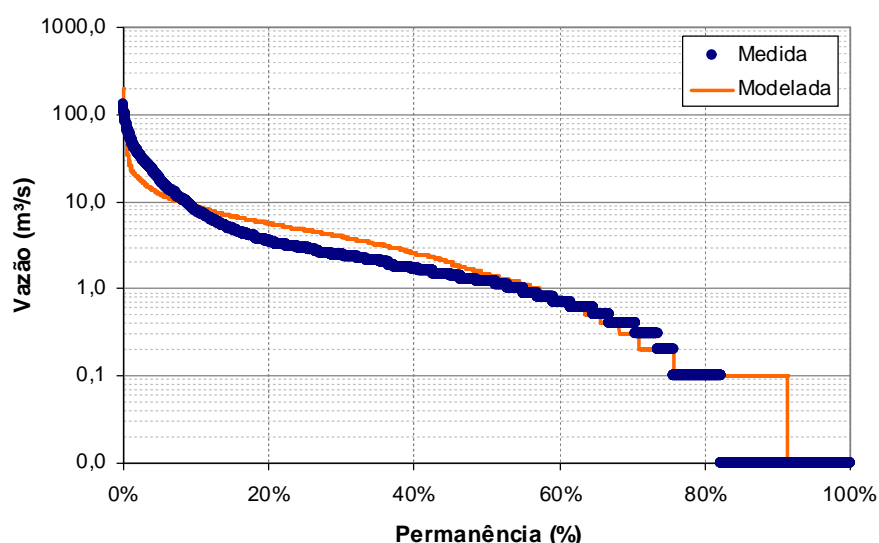


Figura 6. Curva de permanência de vazões. Fonte: Medeiros et al. (2008)

Devido à intermitência do rio, este reduz drasticamente seu escoamento de água no período seco, encontrando-se apenas efluentes em seu leito. Como critério de validação, adotou-se o coeficiente de eficiência (NSE) de Nash e Sutcliffe (1971):

$$NSE = 1 - \frac{\sum (Y_{\text{medido}} - Y_{\text{simulado}})^2}{\sum (Y_{\text{medido}} - \bar{Y}_{\text{medido}})^2} \quad (14)$$

Em que:

$Y_{\text{medido}}$  = Valor da variável medida;

$Y_{\text{simulado}}$  = Valor da variável simulada;

$\bar{Y}_{\text{medido}}$  = Média dos valores medidos.

As vazões utilizadas na validação do modelo QUAL2E estão discriminadas na Tabela 12.

Tabela 12. Vazões utilizadas para validação do modelo QUAL2E no período úmido com base nos registros do posto fluviométrico Sítio Lapinha.

Bacia	Área bacia (km <sup>2</sup> )	Vazão estimada (m <sup>3</sup> /s)						Simulação
		09/02/06	09/03/06	06/04/06	18/05/06	20/06/06	23/01/07	
S1	55,7	0,18	0,11	1,02	0,17	0,08	0,03	0,00
S2	95,0	0,30	0,18	1,74	0,28	0,14	0,05	0,00
S3	197,2	0,63	0,38	3,60	0,59	0,30	0,10	0,00
S4	212,9	0,68	0,41	3,89	0,63	0,32	0,11	0,00
S5	222,4	0,71	0,43	4,06	0,66	0,34	0,11	0,00
S6	865,3	2,76	1,67	15,81	2,58	1,32	0,45	0,00
S7	1253,0	3,99	2,42	22,90	3,73	1,91	0,65	0,00
S8	1683,3	5,36	3,25	30,76	5,01	2,57	0,87	0,00
Granjeiro	21,9	0,07	0,04	0,40	0,07	0,03	0,01	0,00
Macacos	60,4	0,19	0,12	1,10	0,18	0,09	0,03	0,00
Carás	561,2	1,79	1,09	10,26	1,67	0,86	0,29	0,00
Salamanca	321,2	1,02	0,62	5,87	0,96	0,49	0,17	0,00
Lapinha	1686,8	5,38	3,26	30,83	5,02	2,57	0,87	

Obs.: Vazões estimadas considerando-se vazão específica (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) constante na bacia do posto Sítio Lapinha

#### 4.5.3 Simulação de Cenários

Para a construção dos cenários dos padrões de emissão de poluentes no rio Salgado adotou-se como premissas os resultados da etapa do Experimento Social que aprovou a ferramenta de gestão e qualidade de água intitulada Tolerância, representando 10% da Classe II, estabelecida como a desejável para o enquadramento das águas da micro-bacia III na Sub-bacia do Salgado.

Utilizando-se o modelo QUAL2E com os parâmetros calibrados nesta pesquisa, simularam-se sete cenários com o padrão de emissão de DBO igual a 5; 10; 20; 40; 60; 80 e

100 mg/L, e cinco cenários com o padrão de emissão de Coliformes Termotolerantes igual a  $10^3$ ;  $10^4$ ;  $10^5$ ;  $10^6$  e  $10^7$  NMP/100mL.

Para o período úmido utilizou-se a metodologia descrita por Medeiros et al. (2008), pois em todas as campanhas havia escoamento no rio de acordo com dados indicados na série histórica do Sítio Lapinha. No entanto para o período seco onde o escoamento é zero, considerando-se que existe uma vazão residual gerada pelo lançamento de efluentes no rio, optou-se por usar a vazão de referencia igual a 24% de permanência no rio Salgado, sendo este o valor indicado pelo autor em que todas as sessões possuem uma vazão diferente de zero.

Para avaliar o resultado da simulação de OD, DBO e Coliformes Termotolerantes utilizaram-se histogramas para os períodos úmido e seco. Os histogramas criados a partir da frequência do padrão de emissão simulado para as diferentes Classes das águas doces estabelecidas na Resolução CONAMA 357, representam o número de observações de valores enquadrados em cada Classe dividido pelo total de observações considerando todas as sessões. Desta forma esta ferramenta mostrou a frequência de excesso geradora da Tolerância por esta tese proposta, servindo como instrumento para discussão dos seus resultados.

Foi admitido que a bacia em estudo está próxima de seu limite de saturação. Assim, os cenários aqui simulados não prevêm inclusão de novos agentes poluidores.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Reconhecimento da área

Os resultados do reconhecimento da área realizados através do mapeamento e cadastramento dos pontos de despejo de efluentes estão dispostos na Tabela 13.

Tabela 13. Dados referentes ao mapeamento e cadastramento de lançamentos de efluentes.

Manancial	Número de Pontos Georeferenciados	Período
Rio Batateiras	31	Dias 02, 09 e 16 de Abril de 2005.
Rio Grangeiro	40	14 e 21 de Maio de 2005.
Rio Salgado	24	23, 30 de Abril e 07 de Maio de 2005.
Rio Carás	16	13 e 19 de Julho de 2005.
Riacho dos Macacos	11	04 de Junho de 2005.
Rio Salamanca	18	26 de Julho de 2005.

Identificou-se a existência de cinco zonas fisiográficas distintas no trecho em estudo do rio Salgado, que são descritas a seguir:

**Encosta da Chapada do Araripe.** Zona onde surgem os rios, riachos e córregos, que drenam as águas infiltradas no topo da Chapada através de fraturas na estrutura geológica sedimentar. Caracteriza-se por elevada declividade e assoreamento dos corpos d'água nas áreas sopedâneas. Suas matas ciliares encontram-se parcialmente preservadas, porém há presença de lixo e entulho, não sendo verificado lançamento de efluente. A expansão imobiliária desordenada que invade áreas marginais aos corpos d'água e possibilita a existência de fontes difusas de poluição (ver Figura 7).

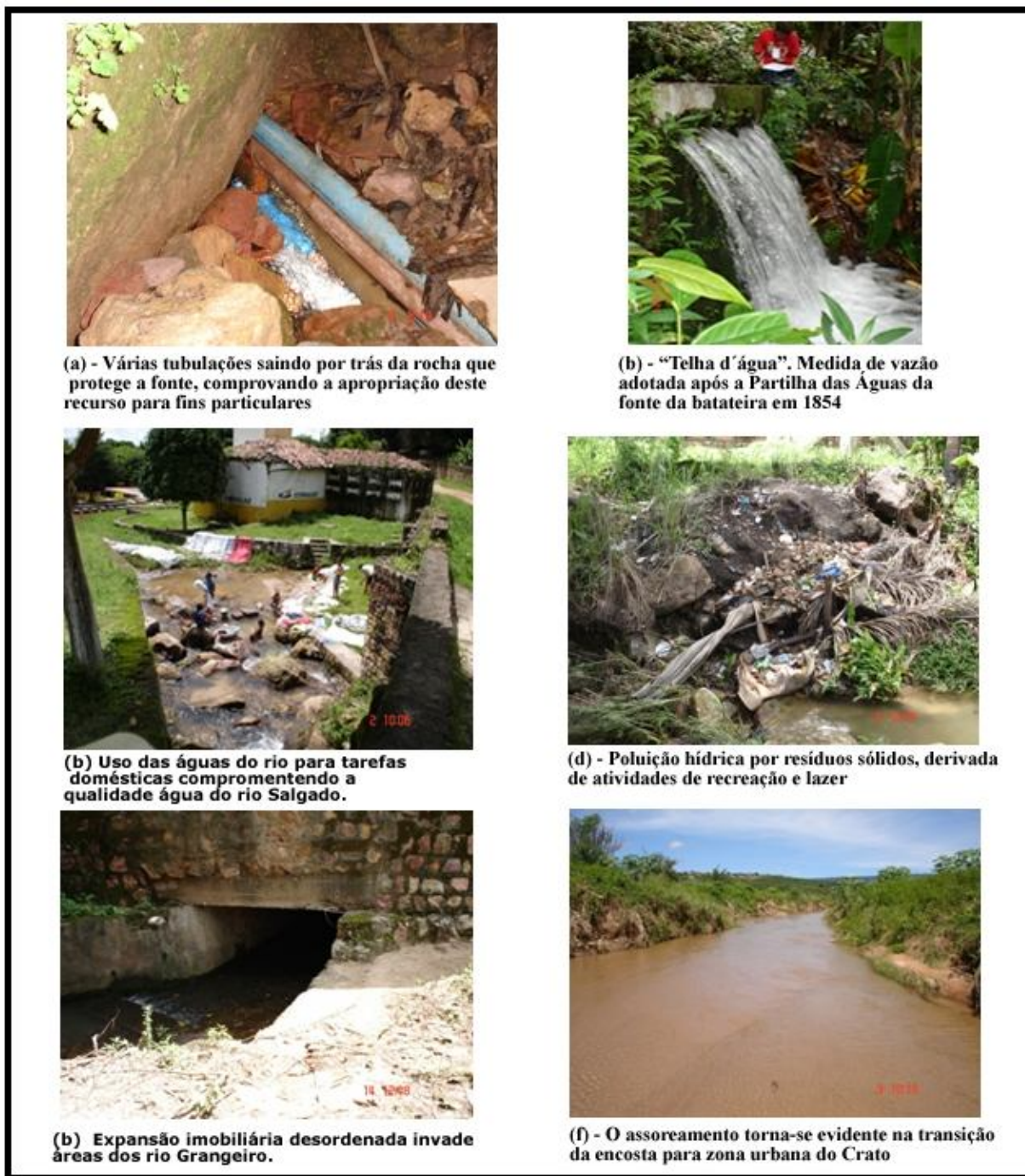


Figura 7. Impactos observados na zona fisiográfica da encosta da chapada do Araripe.



**(ii) Zona urbana de Crato.** Caracteriza-se pelo lançamento, sem qualquer tratamento, dos efluentes domésticos, industriais e hospitalares da cidade de Crato, no Canal do Rio Grangeiro, através de 127 pontos distribuídos em um quilômetro e meio (1,5 Km) de extensão (ver Figura 8 e 9), até desaguar no rio Batateiras, comprometendo a qualidade das águas do trecho em estudo.



Figura 8. Canal do rio Grangeiro afetado por fortes chuvas, durante a “quadra invernosá”



Figura 9. Galeria com maior fluxo de despejo de efluentes domésticos oriundos do centro da cidade

**(iii) Zona urbana de Juazeiro do Norte.** Presença de indústrias extremamente poluidoras de corpos d’água, como curtumes, frigoríficos e galvanoplastia (ver Figuras 10 e 11), assim como o lançamento de parte dos efluentes domésticos da cidade diretamente no rio (ver Figura 12).



Figura 10. Lançamento de sangue no rio proveniente de frigorífico



Figura 11. Efeito visual danoso do lançamento de frigorífico



Figura 12. Poluição causada por efluentes domésticos, de galvanoplastia, lixos e detritos de toda natureza.

**(iv) Zona rural de Juazeiro do Norte.** Verificou-se o uso agrícola e a presença de barramentos em períodos de estiagem, principalmente no leito perenizado do Rio Carás, mudando o fluxo natural da água e, por conseguinte, todas as características importantes para o monitoramento da qualidade de água, conforme Figuras 13 e 14.



Figura 13. Estrutura de barramento do curso d'água do leito do rio Carás



Figura 14. Contribuição do rio Carás para o rio Salgado, ainda em Juazeiro do Norte



(v) **Zona rural de Missão Velha.** Sofre, no período seco, devido à prática de barramentos, sem autorização que em muitos casos impede o acesso à água de uma parcela considerável da população rural. O rio Salamanca, no período úmido, é um importante afluente do rio Salgado (ver Figura 15). A cachoeira de Missão Velha está no limite da área de estudo (ver Figura 16).



Figura 15. Contribuição do rio Salamanca para o rio Salgado



Figura 16. Cachoeira de Missão Velha, último ponto de coleta da área de estudo

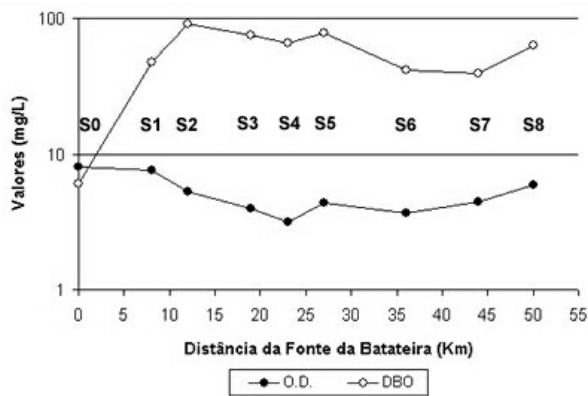
## 5.2 Diagnóstico - Fase I

A Tabela 14 apresenta os resultados mínimos, médios e máximos das concentrações dos parâmetros avaliados revelando que, destes, cinco se mostraram fora do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005: o oxigênio dissolvido (OD), a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), os Coliformes Termotolerantes, o nitrogênio amoniacal e o fósforo total. Observa-se que, por nunca ter sido enquadrado, o rio em estudo deveria obedecer às restrições da Classe II, como ordena a legislação em vigor. As concentrações de OD e DBO nas campanhas realizadas em 2005 estão mostradas na Figura 15.

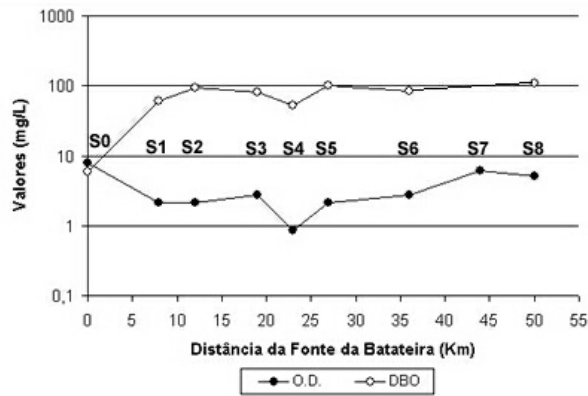
Tabela 14. Valores dos parâmetros medidos entre março e setembro de 2005 no rio Salgado e limites estabelecidos na resolução CONAMA 357/05.

Parâmetro	und.	Valor Medido			Limite para a classe		
		Mínimo	Médio	Máximo	I	II	III
Alcalinidade Carbonatada	mg CaCO <sub>3</sub> /L	20,70	34,10	42,00	*	*	*
Alcalinidade Bicarbonato	mg CaCO <sub>3</sub> /L	6,10	183,2	326,10	*	*	*
Alcalinidade total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	100,40	146,83	193,27	*	*	*
Condutividade elétrica	mS/cm	0,19	0,72	1,67	*	*	*
pH	*	6,7	7,6	8,0	6-9	6-9	6-9
O.D.	mg O <sub>2</sub> /L	0,05	3,60	7,65	6,00	5,00	4,00
D.B.O.	mg O <sub>2</sub> /L	15,40	69,0	301,20	6,00	5,00	10,00
Nitrato (v. unidade)	mg N-NO <sub>3</sub> /L	0,07	0,60	2,97	10,00	10,00	10,00
Nitrito (v. unidade)	mg N-NO <sub>2</sub> /L	0,01	0,11	0,93	1,00	1,00	1,00
Nitrogênio Amoniacal	mg N <sub>3</sub> H <sub>4</sub> /L	0,48	7,00	38,26	2,00	2,00	5,60
Nitrogênio Orgânico	mg N/L	0,01	2,53	37,88	*	*	*
Nitrogênio Total	mg N/L	1,00	12,70	76,60	*	*	*
Ortofosfato solúvel	mg P/L	0,04	1,42	10,67	*	*	*
Fósforo total	mg P/L	0,03	2,77	20,16	0,02	0,05	0,07
Turbidez	UNT	1,97	19,44	94,40	40,00	100,00	100,00
Cloretos	mg Cl/L	17,18	87,38	276,36	250,00	250,00	250,00
S.T.D.	mg/L	21,23	110,52	391,00	500,00		500,00
Clorofila A	µg/L	0,36	13,40	114,66	10,00	30,00	60,00
Sulfato	Mg SO <sub>4</sub> /L	2,42	20,54	38,76	250,00	250,00	250,00
Sódio	mg Na/L	10,65	209,70	998,54	*	*	*
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	53,75	253,67	1.403,36	*	*	*
Cálcio	mg Ca/L	13,60	62,20	154,00	*	*	*
Magnésio	mg Mg/L	4,55	13,19	26,73	*	*	*
Potássio	mg K/L	0,11	13,60	27,02	*	*	*
Ferro total	mg Fe/L	0,05	5,50	48,56	*	*	*
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1,10E+01	2,42E+06	4,30E+07	2,00E+02	1,00E+03	2,50E+03
Coliformes totais	NMP/100 ml	2,80E+01	4,18E+06	9,30E+07	*	*	*

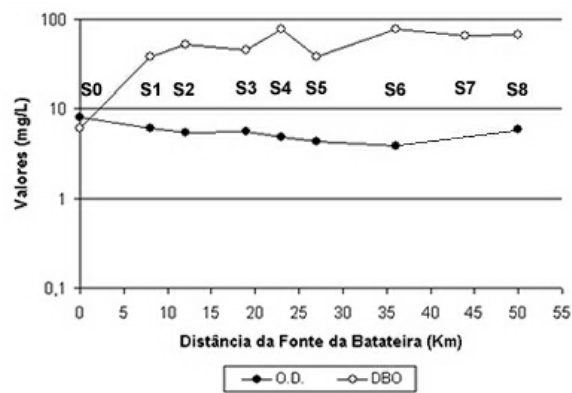
**Diagnóstico - Fase I**  
**OD - DBO (mg/L)**



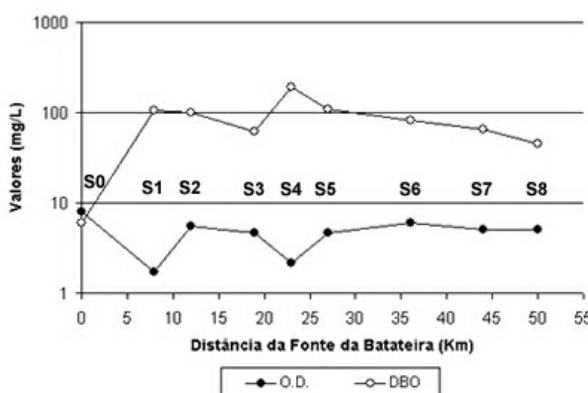
(a) Campanha 1



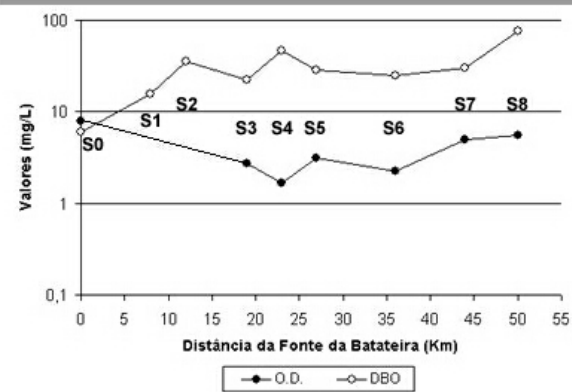
(d) Campanha 4



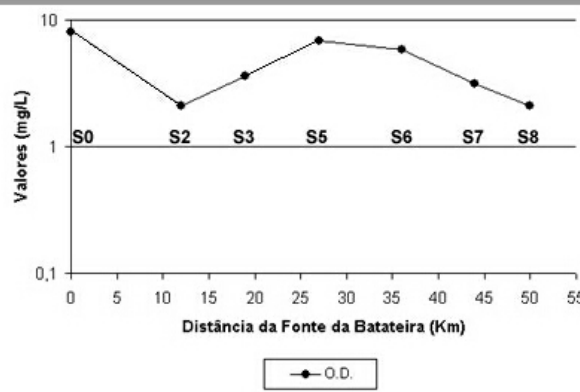
(b) Campanha 2



(e) Campanha 5



(c) Campanha 3



(f) Campanha 6

Figura 17. Concentrações de Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio obtidos no diagnóstico fase I, entre Março e Setembro de 2005, no rio Salgado.

O oxigênio dissolvido (OD) foi fortemente afetado pelo lançamento de sangue diretamente no rio, proveniente do Frigorífico Municipal de Juazeiro do Norte, após S3 (km 19), como mostra a Figura 17, ver campanhas 1, 3, 4 e 5.

Segundo Espinoza (1998), este tipo de indústria gera um volume de efluente de 1,1 a 2,9m<sup>3</sup> por animal processado. O sangue é o principal resíduo líquido obtido neste processo, sendo abatidos semanalmente 375 bovinos de peso vivo em torno de 500kg, possuindo em média 40 litros de sangue (Sabiá et al., 2005). Desta forma, são lançados 15 m<sup>3</sup> de sangue/semana, como também 1,8 m<sup>3</sup> de água por cabeça abatida (NOBUYOSHI, 1997), gerando assim 666 m<sup>3</sup> de efluente por semana.

A demanda bioquímica de oxigênio em todas as amostras excedeu os limites estabelecidos de acordo com a resolução CONAMA 357/2005 para todas as classes. Não obstante, o resultado observado no ponto de coleta S4 (km 23), campanha 5 da figura 15, em agosto de 2005, revela os efeitos danosos do lançamento de efluente do curtume, através de um pico que atinge aproximadamente 200mg/L.

O Curtume Santo Agostinho, localizado a montante da seção S4 (km 23), tem uma produção diária de 300 unidades de couro, ou 7.500 kg de peles. Observando-se que o processo utiliza constantemente a água (em média 1 m<sup>3</sup> por pele processada, conforme Chernicharo et al., (1996)), deduz-se, portanto, que o referido curtume produz uma vazão de efluente de 300 m<sup>3</sup> por dia, ou 1.500 m<sup>3</sup> por semana. Como característica qualitativa dos efluentes de curtumes tem-se a elevada DBO, resultado da presença de sangue, soro e subprodutos da decomposição de proteínas (FERRARI JÚNIOR et al., 1997).

A concentração de DBO nas campanhas 2, 3 e 5 mostraram um pico bem definido. Após S3 (19 km), o frigorífico e o curtume elevam drasticamente a concentração de DBO até a descarga da lagoa de estabilização de Juazeiro do Norte, a 27 km.

Verifica-se uma elevação de OD crescente a partir de S6 (km 34), justificada pela contribuição do rio Carás melhorando significativamente a qualidade da água com a conseqüente diminuição de DBO.

Não foi possível realizar a análise da DBO na campanha 6, realizada em 13 de setembro de 2005, não obstante verifica-se uma influência significativa para o decréscimo de OD com a contribuição do rio Grangeiro e do curtume.

As concentrações de Coliformes Termotolerantes estão expostas na Figura 18.

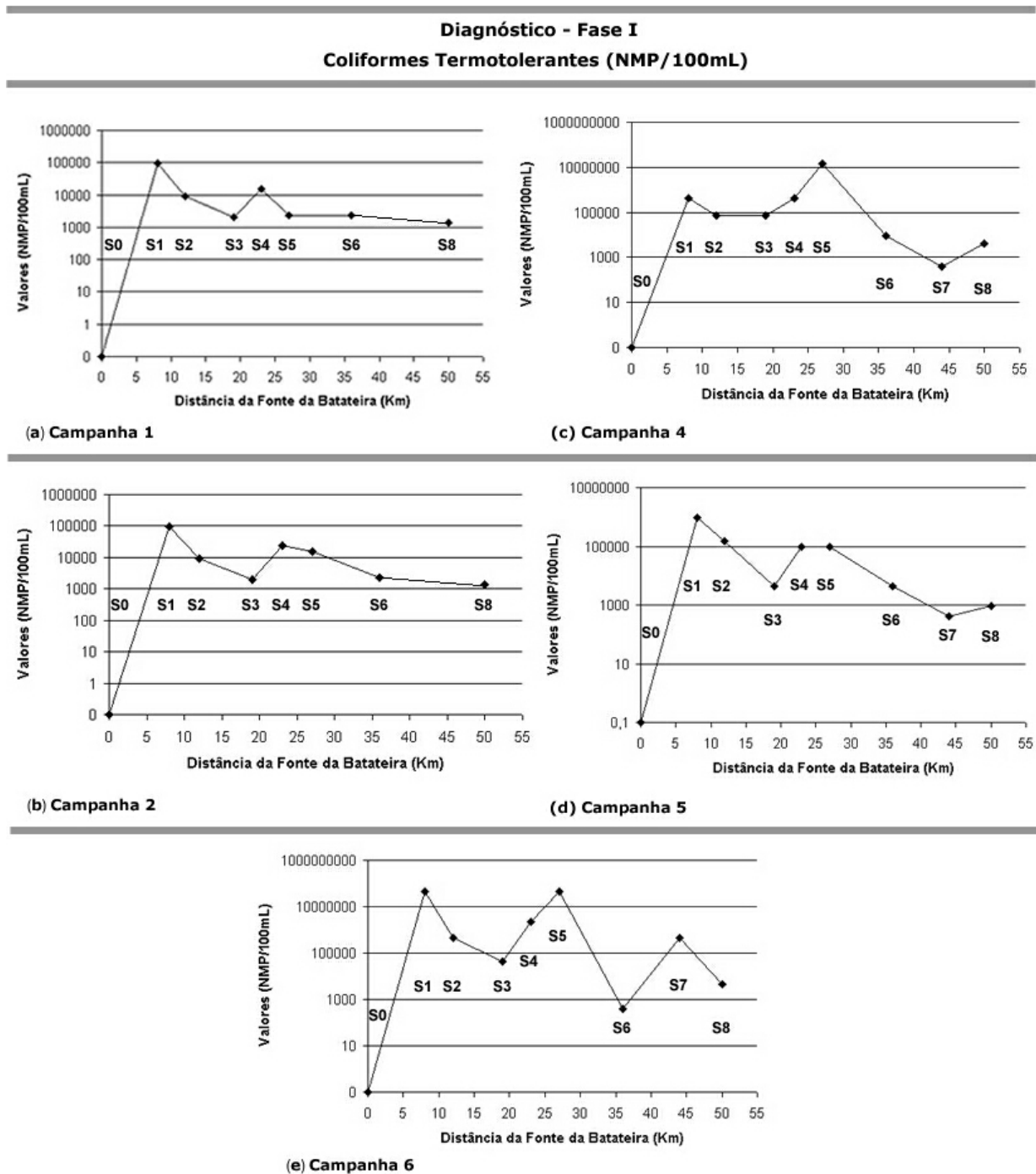


Figura 18 – Concentrações de Coliformes Termotolerantes obtidos no diagnóstico fase I, entre Março e Setembro de 2005, no rio Salgado.

A frequência de excesso de coliformes termotolerantes em 79,6% das amostras indica alto grau de poluição destas águas, tornando-as impróprias para os diversos usos e sendo prejudicial à saúde dos usuários.

A concentração de coliformes termotolerantes presentes aumenta no final do período chuvoso devido à diminuição da vazão do manancial, já que em todo o trajeto verifica-se a presença de lançamentos de efluentes.

A contribuição do rio Grangeiro assume destaque com a formação de um pico, no entanto o lançamento de esgotos domésticos sem tratamento após o curtume também assume a mesma característica com pequena elevação dos coliformes.

O aporte trazido pelo rio Grangeiro e o lançamento de esgotos domésticos sem tratamento após o curtume são novamente as causas da formação dos picos e elevação da concentração dos coliformes.

Já na campanha 4, realizada em 12 de julho de 2005, verifica-se a residual contribuição do rio Grangeiro, sendo relevante a contribuição do lançamento de esgotos domésticos sem tratamento após o curtume.

Para a campanha 5, realizada no dia 09 de agosto de 2005, observa-se que os níveis de coliformes termotolerantes foram afetados pela contribuição do rio Grangeiro e, em menor escala, pela contribuição da estação de tratamento de efluentes de Juazeiro do Norte.

Na campanha 6, de 13 de setembro de 2005, fica clara a influência da contribuição do rio Grangeiro e dos efluentes domésticos de Juazeiro do Norte com a formação de dois picos bem definidos.

Notadamente após a lagoa de estabilização de Juazeiro do Norte, S5 (km 27), a concentração de coliformes termotolerantes decresce até o final do trajeto, pois já não mais existem lançamentos de efluentes nas zonas urbanas de Juazeiro do Norte e Missão Velha. Incontestavelmente a poluição por coliformes termotolerantes é crítica nas zonas urbanas de Crato e Juazeiro do Norte, como demonstra a Figura 18.

Alguns parâmetros que não possuem limites estabelecidos na classificação das águas doces pela Resolução CONAMA 357, conforme Tabela 14, foram monitorados por serem considerados importantes para a análise da qualidade da água.

O pH variou entre 6,7 e 8,8 permanecendo nos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05.

Os cloretos, mesmo estando em limites toleráveis, tornam-se indicadores de poluição, quando se detecta a presença de lançamento de esgoto doméstico sem tratamento.

O cálcio e o magnésio, ainda que sem limites definidos pela referida resolução, assumem valores elevados nas seções onde se verifica ausência de mata ciliar e existência de assoreamento, devido ao carreamento destes elementos provenientes da decomposição das rochas e dos solos erodidos, como nas seções S1 e S4, respectivamente nos quilômetros 8 e 23.

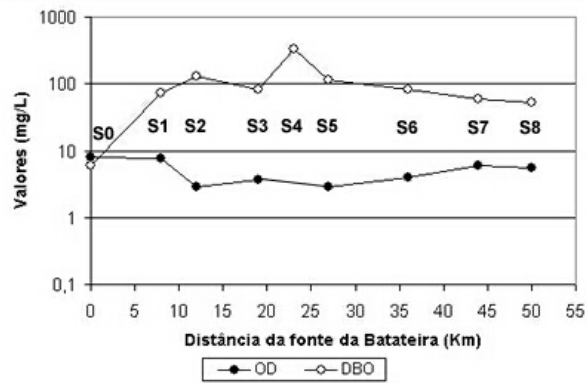
Tomando como base a classificação para águas doces, estabelecida pela Resolução CONAMA 357, observa-se que os resultados dos parâmetros que se encontram em conformidade com esta resolução possuem similaridades com os valores definidos nas Classes II (dois) e III (três), ainda que se verifique maior similaridade de usos na bacia com a Classe II (dois).

Deve-se considerar que a área de estudo encontra-se no semi-árido nordestino, onde a irregularidade pluviométrica torna os corpos d'água superficiais intermitentes e a formação geológica sedimentar propicia a existência de conexão hidráulica entre águas superficiais e subterrâneas confirmada por MENDONÇA (1996).

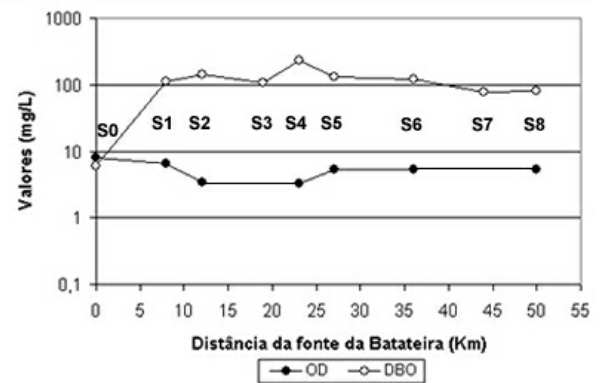
### **5.3 Diagnóstico - Fase II**

As 12 campanhas da fase II, realizadas entre fevereiro de 2006 e janeiro de 2007, foram subdivididas em dois períodos, úmido e seco. O período úmido monitorando através das seis campanhas realizadas entre fevereiro e junho de 2006 e janeiro de 2007 apresentaram os seguintes valores para OD e DBO (ver Figura 19).

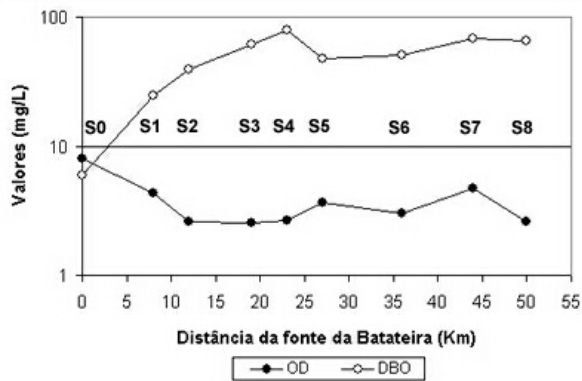
**Diagnóstico Fase II - Período Úmido**  
**OD - DBO (mg/L)**



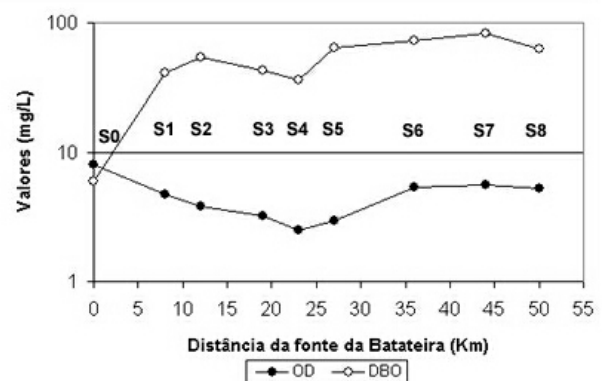
(a) Campanha 7



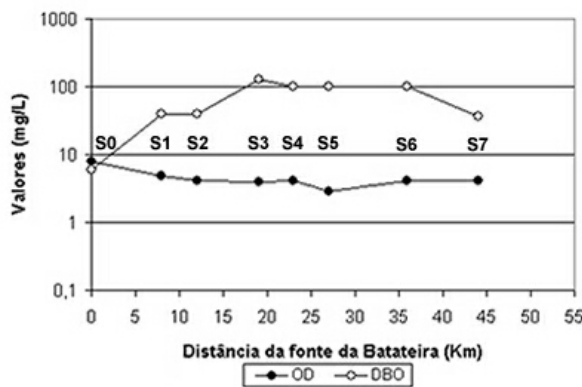
(d) Campanha 10



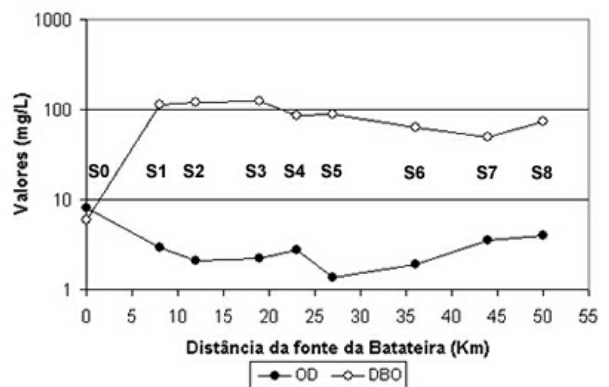
(b) Campanha 8



(e) Campanha 11



(c) Campanha 9



(f) Campanha 18

Figura 19. Concentrações de Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio obtidos no diagnóstico fase II, Período Úmido no rio Salgado.



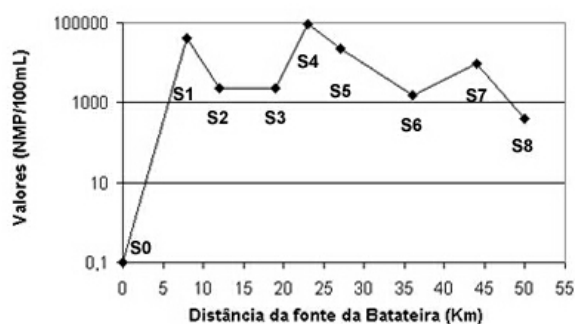
A redução na concentração de oxigênio dissolvido foi um impacto dos despejos de efluentes *in natura* da zona urbana de Crato no rio Grangeiro, que é tributário do rio em estudo, em S2 (km 12), e pelos lançamentos do frigorífico e curtume, entre S3 e S4 (km 19 e 23 respectivamente), em Juazeiro do Norte como se verifica nas campanhas 7, 9, 11 e 18 (ver Figura 19).

Notadamente, após o lançamento da Estação de Tratamento de Esgotos – ETE, ainda na zona urbana de Juazeiro do Norte, verificou-se a recuperação gradual da concentração de OD, S5, entre os quilômetros 27 e 50. Esta pode ser explicada por se tratar de um trecho do rio eminentemente agrícola e receber as contribuições tanto do rio Carás, quanto do rio Salamanca, em cuja seção há a reaeração de suas águas (ver Figura 18).

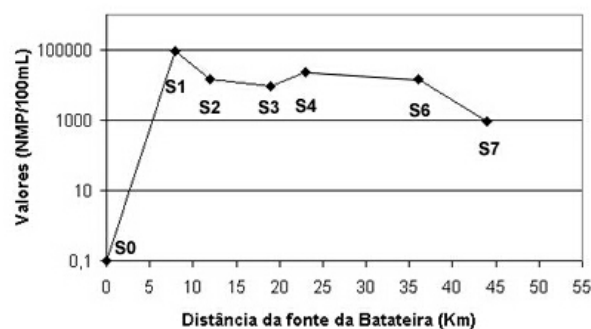
Simultaneamente, a elevação na concentração da demanda bioquímica de oxigênio foi afetada pela contribuição do rio Grangeiro e dos lançamentos do frigorífico e do curtume. No entanto, o comportamento de recuperação da concentração de DBO não foi evidenciado.

As seis campanhas realizadas entre fevereiro a junho de 2006 e janeiro de 2007 apresentaram os seguintes valores para Coliformes Termotolerantes (ver Figura 20).

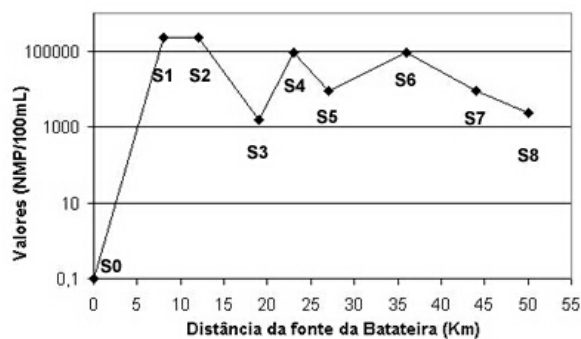
**Diagnóstico Fase II - Período Úmido**  
**CTT (NMP/100mL)**



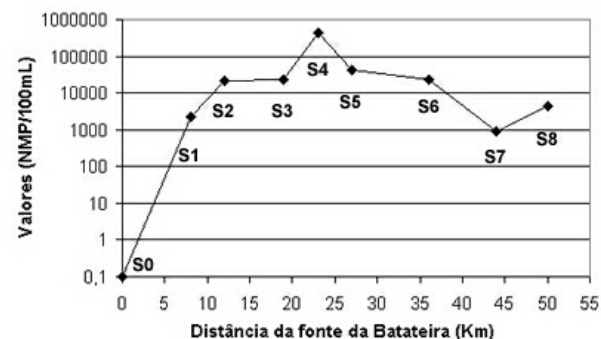
(a) Campanha 7



(c) Campanha 10



(b) Campanha 8



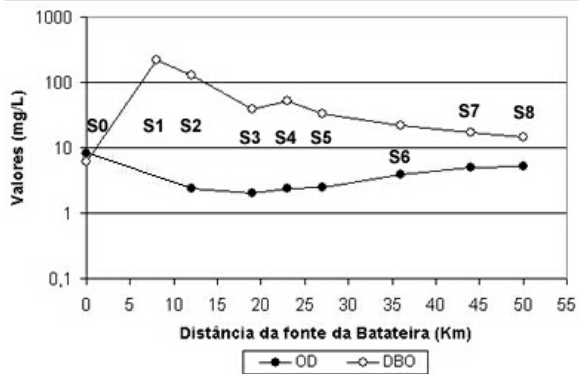
(d) Campanha 11

Figura 20. Concentrações Coliformes Termotolerantes obtidos no diagnóstico fase II, Período Úmido no rio Salgado.

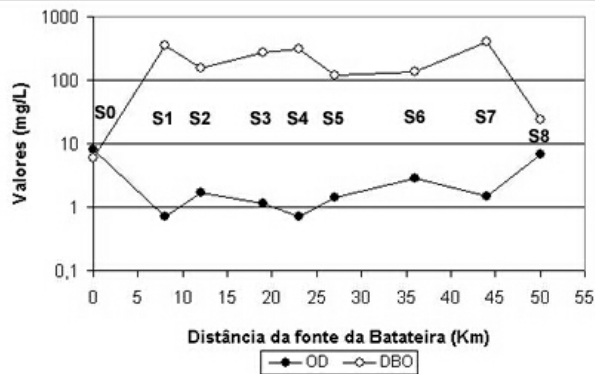
Durante todo o percurso verificam-se lançamentos de efluentes. No entanto, o rio Grangeiro é o principal a induzir a elevação na concentração de Coliformes Termotolerantes, como também os efluentes domésticos *in natura* de Juazeiro do Norte, lançados próximo a S4 (km 23), contribuindo para o aumento da concentração de patógenos e, por final, o rio Salamanca no período úmido que quando deságua no rio Salgado, também afeta a poluição.

As 6 campanhas do período seco realizadas entre julho e dezembro de 2006 apresentaram os seguintes valores para OD e DBO (ver Figura 21).

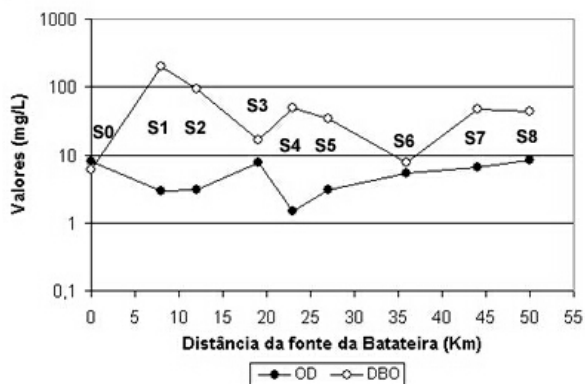
**Diagnóstico Fase II - Período Seco**  
**OD - DBO (mg/L)**



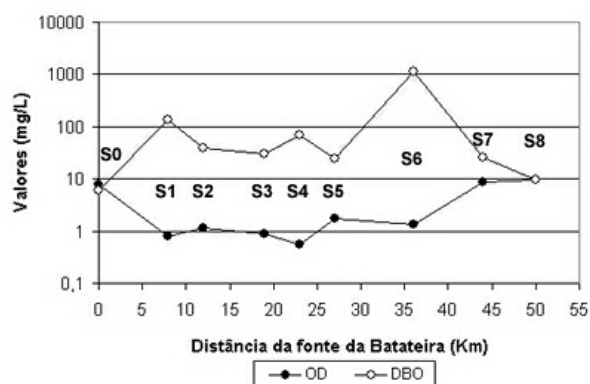
(a) Campanha 12



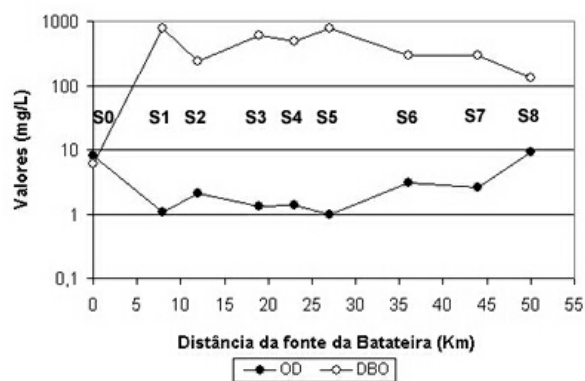
(d) Campanha 15



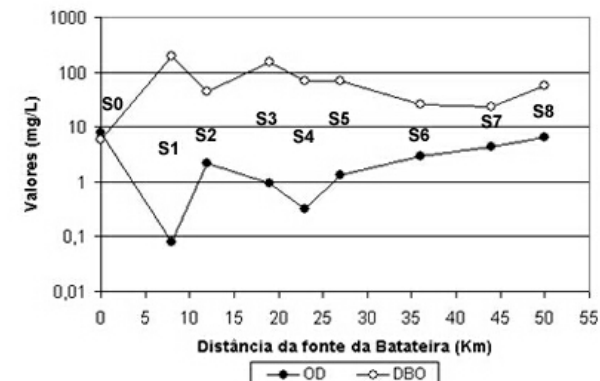
(b) Campanha 13



(e) Campanha 16



(c) Campanha 14



(f) Campanha 17

Figura 21. Concentrações de Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio obtidos no diagnóstico fase II, Período Seco no rio Salgado.

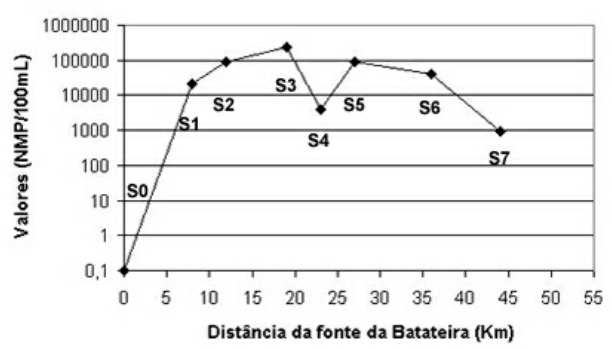
A redução na concentração de oxigênio dissolvido foi um impacto influenciado pelos despejos de efluentes *in natura* da zona urbana de Crato no rio Grangeiro, em S2 (km 12), e pelos lançamentos do frigorífico e curtume, entre S3 e S4 (km 19 e 23), em Juazeiro do Norte.

Verifica-se no período seco a mesma tendência de recuperação da concentração de OD, após a lagoa de estabilização de Juazeiro do Norte, S5 (km 27) ver em todas as campanhas (ver Figura 21).

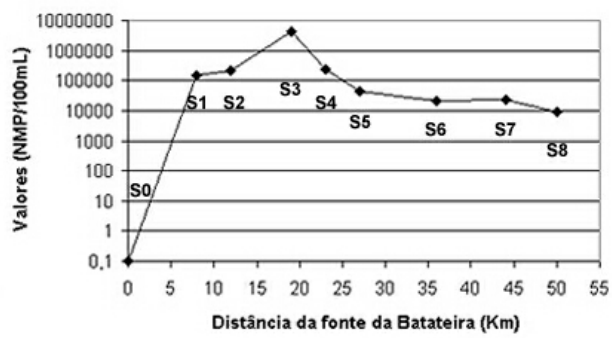
Não obstante, mais uma vez, a recuperação da concentração de DBO não foi verificada, sendo um fator determinante no prejuízo da qualidade da água.

As 6 campanhas da fase II, realizadas entre fevereiro de 2006 e janeiro de 2007, apresentaram os seguintes valores para Coliformes Termotolerantes (ver Figura 22).

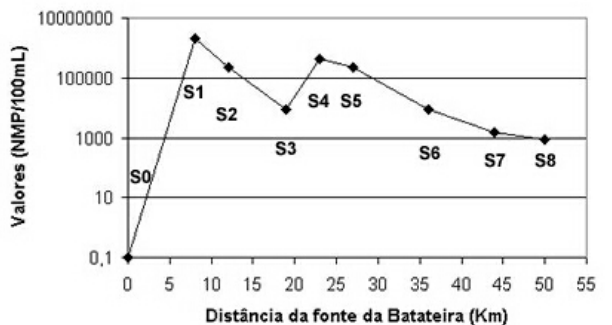
**Diagnóstico Fase II - Período Seco**  
**CTT (NMP/100mL)**



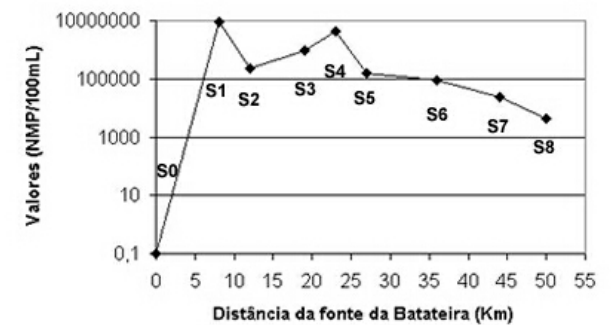
(a) Campanha 12



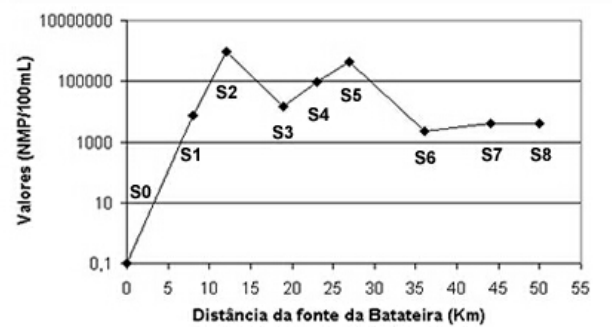
(d) Campanha 15



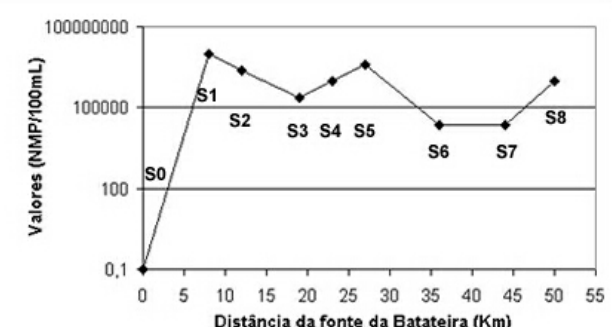
(b) Campanha 13



(e) Campanha 16



(c) Campanha 14



(f) Campanha 17

Figura 22. Concentrações Coliformes Termotolerantes obtidos no diagnóstico fase II, Período Seco no rio Salgado

As concentrações de coliformes termotolerantes, no período seco, são influenciadas pela poluição através da descarga de efluentes domésticos do rio Grangeiro e de esgotos clandestinos em Juazeiro do Norte, entre S3 e S4 (km 19 e 23), lançados diretamente no rio. No entanto, a qualidade da água é melhorada, pois no final do trecho em estudo o rio Salamanca, S7 (km 44), não mais influencia na poluição, pois se encontra sem fluxo de água para o rio Salgado.

#### 5.4 Experimento Social

Os atores sociais, membros do grupo de trabalho do Comitê da Sub-bacia Hidrográfica do Salgado, participantes do processo de discussão e subsídio ao Enquadramento das águas da microbacia III, afirmaram que o estabelecimento do padrão de emissão de poluentes é a medida capaz de compatibilizar o desenvolvimento da região com a sustentabilidade ambiental.

Embora seja evidente a preocupação dos atores sociais com o futuro da qualidade da água, relacionada ao bem-estar humano e do ecossistema, a alternativa de intolerância foi rejeitada por se tratar de uma medida extrema que tornaria o processo não aplicável.

Desta forma, foi aprovada a idéia de criação da ferramenta de gestão de qualidade de água intitulada **Tolerância**, proposta por esta tese, que foi conceituada como:

“A capacidade de suportar a redução do padrão de qualidade da Classe de enquadramento para a Classe imediatamente posterior, durante um determinado período, para compensar a redução da capacidade de autodepuração causada pela deficiência hídrica”.

A ampla maioria decidiu que a duração da tolerância é de aproximadamente 10 % da frequência de excesso para a classe de uso subsequente. Também definiu a necessidade de todos os usuários gozarem dos mesmos direitos e deveres, participando de amplo movimento pela gestão das águas.

Foram indicados como usos mais nobres para as águas do Rio Salgado o abastecimento e a agricultura, apontando-se a Classe II da Resolução CONAMA 357/2005 como a classe base para o estabelecimento do padrão de qualidade.

## 5.5 Modelagem de qualidade de água

### 5.5.1 Calibração dos Parâmetros

A calibração foi feita utilizando as variáveis: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes termotolerantes, analisando-se o banco de dados referente ao monitoramento da fase I do diagnóstico.

Escolheu-se a campanha 2, realizada em 03 de maio de 2005, para realizar a calibração por possuir maior número de dados consistentes tanto de qualidade de água quanto de vazão, produzindo um resultado eficiente para esta etapa.

Inicialmente, adotou-se para o coeficiente de decaimento de DBO ( $K_1$ ) a faixa de 0,09 a 0,23  $\text{dia}^{-1}$ , avaliada por Araújo (2005), para trechos do rio Jaguaribe, CE. Testaram-se todos os valores da faixa com incremento de 0,01  $\text{dia}^{-1}$ , sendo que os valores superiores a 0,17  $\text{dia}^{-1}$  produziram valor zero para oxigênio dissolvido nos últimos trechos, tomando-se incompatíveis com os valores medidos nestas seções. Desta forma, restringiu-se à faixa de aplicação de 0,09 a 0,17  $\text{dia}^{-1}$ .

Para otimizar e calcular o menor erro possível considerando-se as duas variáveis (OD e DBO), tomou-se a média da função erro calculado pela equação (13) para OD e DBO. Com base na interpretação matemática exposta, justifica-se a utilização do valor 0,13  $\text{dia}^{-1}$  para a calibração do coeficiente de decaimento de DBO –  $K_1$ , ver valores dos parâmetros usados para esta calibração na Tabela 15 e na Figura 23.

Tabela 15. Valores de OD e DBO medidos e simulados, assim como a média dos erros, entre OD e DBO, usando parâmetro  $K_1$  ótimo (0,13  $\text{dia}^{-1}$ ), com base nos dados de 03 de maio de 2005 no rio Salgado.

SEÇÃO	OD (mg/L)		DBO (mg/L)		$\epsilon$ função erro médio (mg/L) <sup>2</sup>
	Medido	Simulado	Medido	Simulado	
S1	6,05	6,89	38,10	36,84	311,51
S2	5,42	5,69	52,80	51,94	309,05
S3	5,50	5,12	45,60	47,61	306,99
S4	4,78	4,21	76,50	71,13	306,33
S5	4,30	3,88	38,40	61,64	305,80
S6	3,82	3,52	76,50	76,25	305,81
S7	4,42	2,71	64,50	65,48	307,53
S8	5,82	1,66	66,90	63,22	309,31

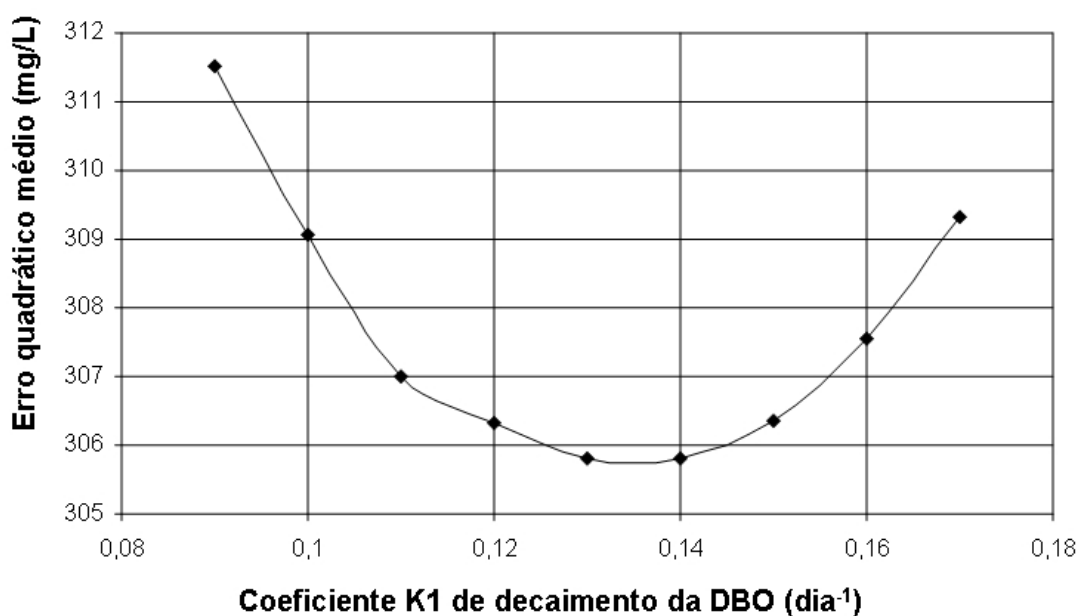


Figura 23. Valores médios dos erros, entre Oxigênio Dissolvido – OD e Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, utilizados na calibração do coeficiente de decaimento de DBO –  $K_1$ , na campanha 2 de 03.05.05 no rio Salgado.

O valor ótimo do Coeficiente de Decaimento de DBO é  $0,13 \text{ dia}^{-1}$ , admitindo-se que esse parâmetro é constante para todos os trechos. Este valor é compatível com a faixa calculada por Araújo (2005) no rio Jaguaribe, o qual possui características similares ao rio em estudo no presente trabalho.

A área de estudo desta tese situada na bacia do Salgado e a do Baixo Jaguaribe, na qual Araújo (2005) desenvolveu sua pesquisa, encontram-se na mesma bacia hidrográfica. As duas bacias representam as cabeceiras e a porção mais a jusante respectivamente na bacia do Jaguaribe.

A bacia do Baixo Jaguaribe, mais próxima do litoral, possui condições climáticas um pouco diferentes da bacia do Salgado, como maiores precipitações, por exemplo. Além disso, na bacia do Salgado ocorrem solos profundos e um componente de águas subterrâneas bastante peculiar no estado do Ceará.

Quanto à comparação das duas áreas, referente as constantes de decaimento similares obtidas nos dois estudos que se encontram na mesma bacia hidrográfica, estes resultam de processos muito semelhantes de decomposição da matéria orgânica e decaimento de coliformes.



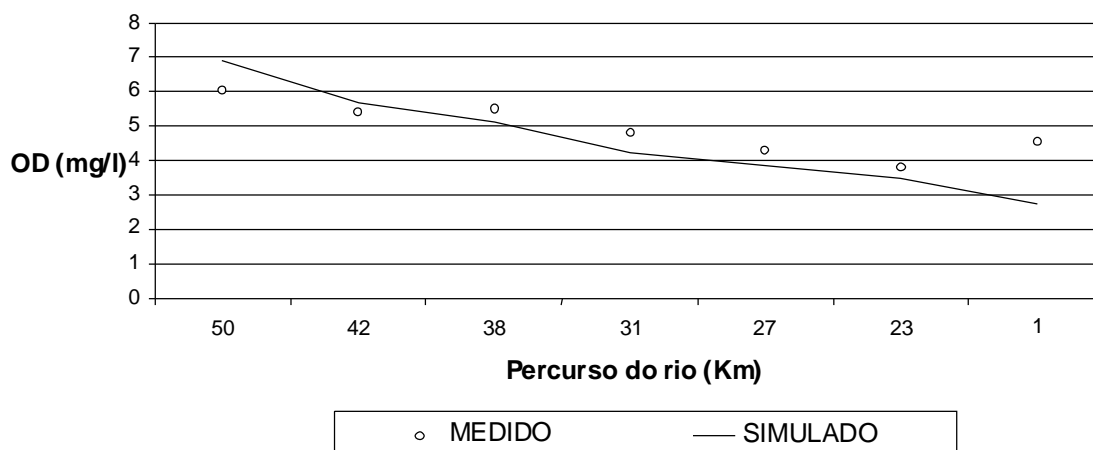


Figura 24. Comparativo entre os valores medidos e simulados com QUAL2E com o parâmetro  $K_1$  calibrado de Oxigênio Dissolvido na campanha 2 (03/05/05).

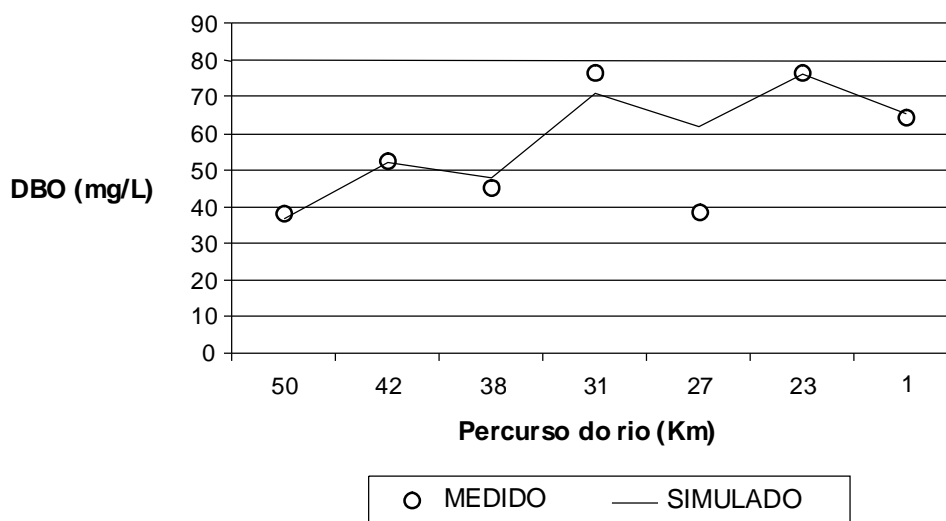


Figura 25. Comparativo entre os valores medidos e simulados com QUAL2E (com o parâmetro  $K_1$  calibrado) de Demanda Bioquímica de Oxigênio, na campanha 2 de 03/05/05 no rio Salgado

Para a calibração do parâmetro  $K_5$ , testaram-se, como faixa de aplicação, os valores entre  $0,1$  a  $0,5 \text{ dia}^{-1}$ , com incremento de  $0,1 \text{ dia}^{-1}$ , a fim de determinar o erro mínimo entre os valores medidos e simulados.

O valor ótimo para o coeficiente de decaimento de coliformes ( $K_5$ ) é de  $0,30 \text{ dia}^{-1}$ , como exposto na Figura 26.

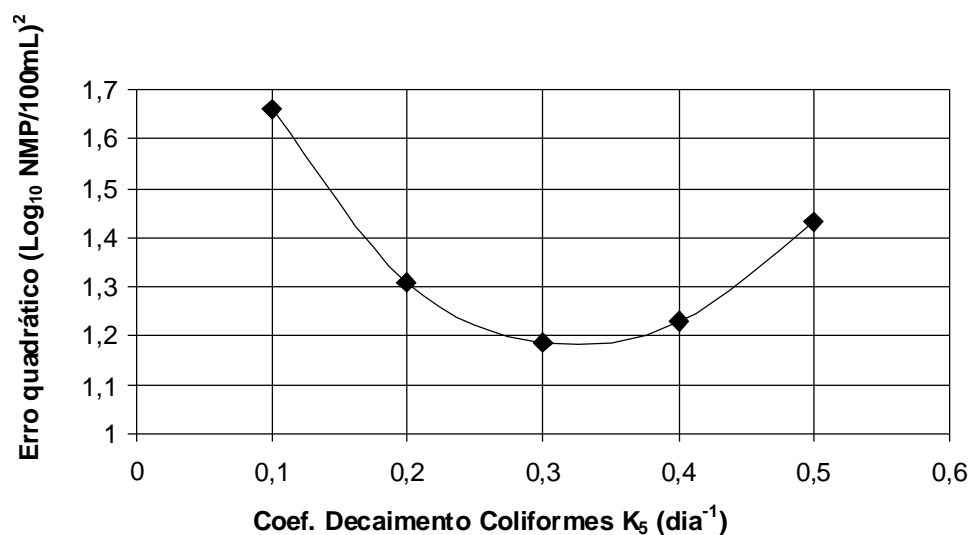


Figura 26. Valores dos erros para Coliformes Termotolerantes, utilizados na calibração do coeficiente de decaimento de coliformes –  $K_5$  na campanha 2 em 03.05.05 no rio Salgado.

A calibração do Parâmetro ( $K_5$ ) foi feita utilizando os valores medidos e simulados de  $\text{Log}_{10} \text{NMP}/100\text{mL}$  dos coliformes termotolerantes, ver Tabela 16.

Tabela 16. Valores de  $\text{Log}_{10} \text{NMP}/100\text{mL}$  de coliformes termotolerantes medidos e simulados, assim como erro de simulação do modelo QUAL2E, usando parâmetro  $k_5$  ótimo ( $0,13 \text{ dia}^{-1}$ ), com base nos dados de 03 de maio de 2005 no rio Salgado.

SEÇÃO	MEDIDO ( $\text{Log}_{10} \text{NMP}/100\text{mL}$ )	SIMULADO ( $\text{Log}_{10} \text{NMP}/100\text{mL}$ )	$\epsilon$ função erro ( $\text{Log}_{10} \text{NMP}/100\text{mL})^2$
S1	4,97	4,39	0,3364
S2	3,97	4,21	0,0576
S3	3,30	3,95	0,4225
S4	4,36	3,99	0,1369
S5	4,17	3,78	0,1521
S6	3,36	3,63	0,0729
S7	-	3,36	-
S8	3,15	3,24	0,0081

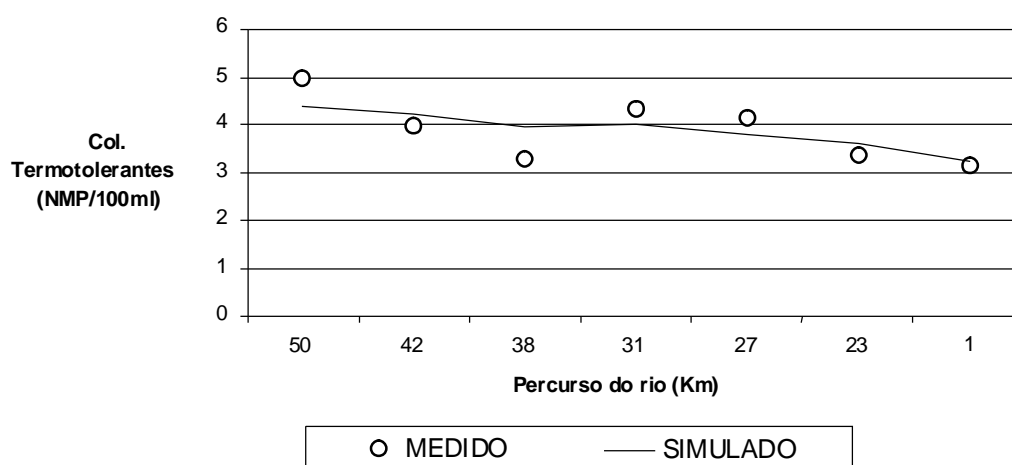


Figura 27. Comparativo entre os valores medidos e simulados com QUAL2E de Coliformes Termotolerantes, na campanha 2 de 03/05/05 no rio Salgado.

### 5.5.2 Validação do Modelo QUAL2E

Utilizou-se o coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (1971), NSE, para o período úmido e seco, respectivamente caracterizados entre janeiro a junho e julho a dezembro. Este revelou valores que indicam a validação do modelo (ver Tabela 17).

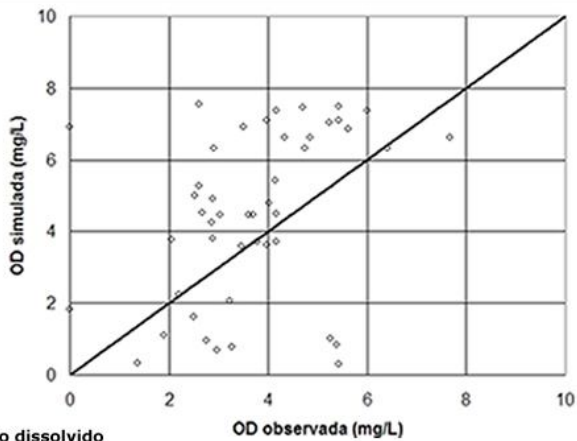
O NSE é um índice que varia de menos infinito a um, sendo que quanto maior o valor de NSE, melhor o ajuste dos dados. Valores menores que zero indicam que a simples adoção da média é melhor que o modelo adotado, enquanto que valores próximos a um indicam uma grande eficiência do modelo em prever o fenômeno simulado.

Tabela 17. Resultados do coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NSE) para validação do modelo QUAL2E ao rio Salgado, utilizando os parâmetros OD, DBO e Coliformes Termotolerantes nos períodos seco e úmido

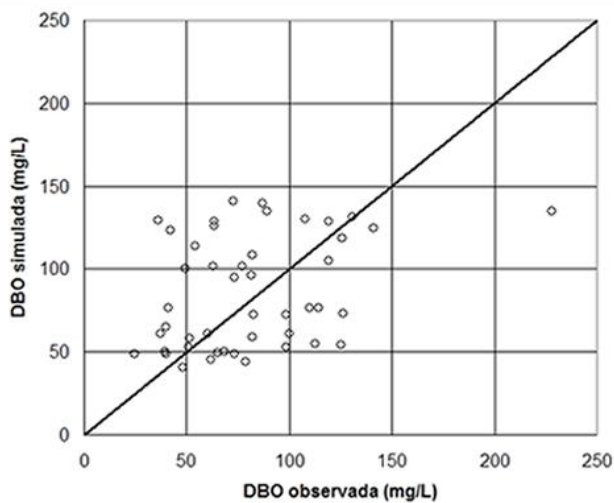
Período	Variável	NSE
Úmido	OD	0,60
Úmido	DBO	0,64
Úmido	Coliformes Termotolerantes	0,96
Seco	OD	0,49
Seco	DBO	0,33
Seco	Coliformes Termotolerantes	0,83

As diversas medidas realizadas contemplam diferentes situações que podem ocorrer no rio Salgado, e para esses casos o modelo não apresentou resultados muito diferentes dos dados medidos. No período seco as incertezas são maiores devido à menor capacidade de diluição (menor vazão) do rio. Já para o período úmido essa incerteza é menor, pois a diluição no rio é maior e um possível lançamento que não tenha sido considerado tem menor impacto nos resultados (ver Figura 28).

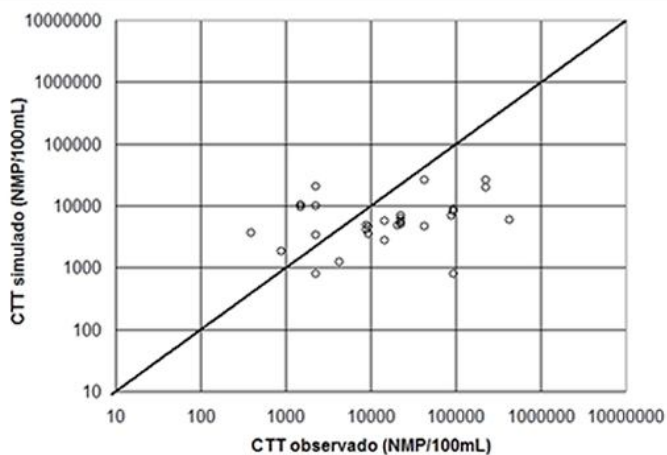
**Gráfico de ajuste perfeito entre o valor medido e o observado para a validação do Modelo QUAL2E para OD, DBO e Coliformes Termotolerantes**



(a) Oxigênio dissolvido



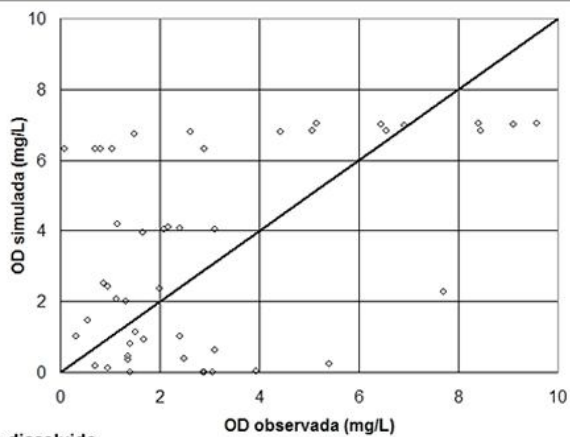
(b) Demanda bioquímica de oxigênio



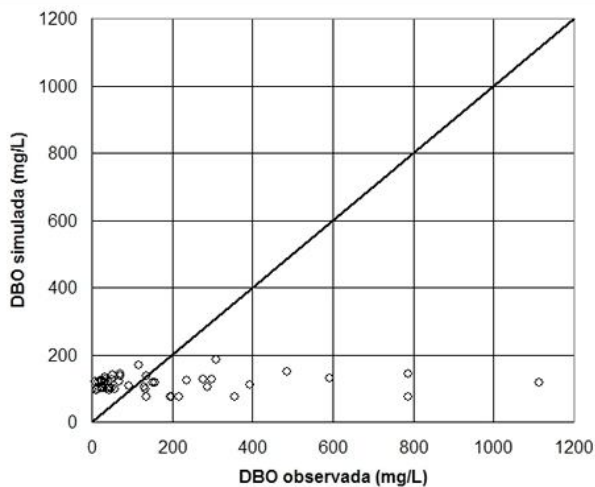
(b) Coliformes termotolerantes

Figura 28. Comparativo entre valores medidos e observados de coliformes termo tolerantes para validação do modelo QUAL2E no período úmido.

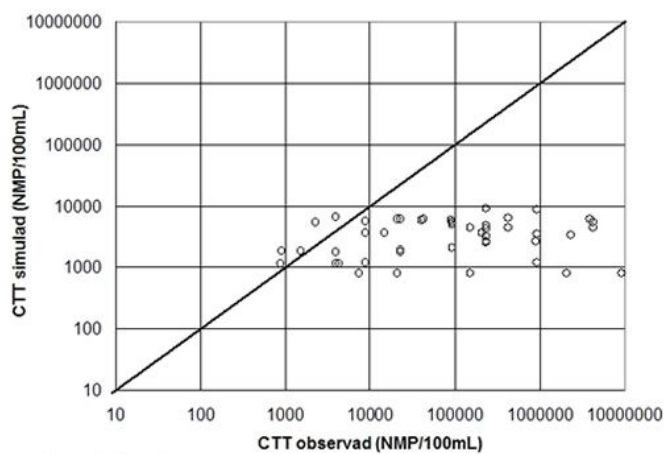
**Gráfico de ajuste perfeito entre o valor medido e o observado para a validação do Modelo QUAL2E para OD, DBO e Coliformes Termotolerantes**



(a) Oxigênio dissolvido



(b) Demanda bioquímica de oxigênio



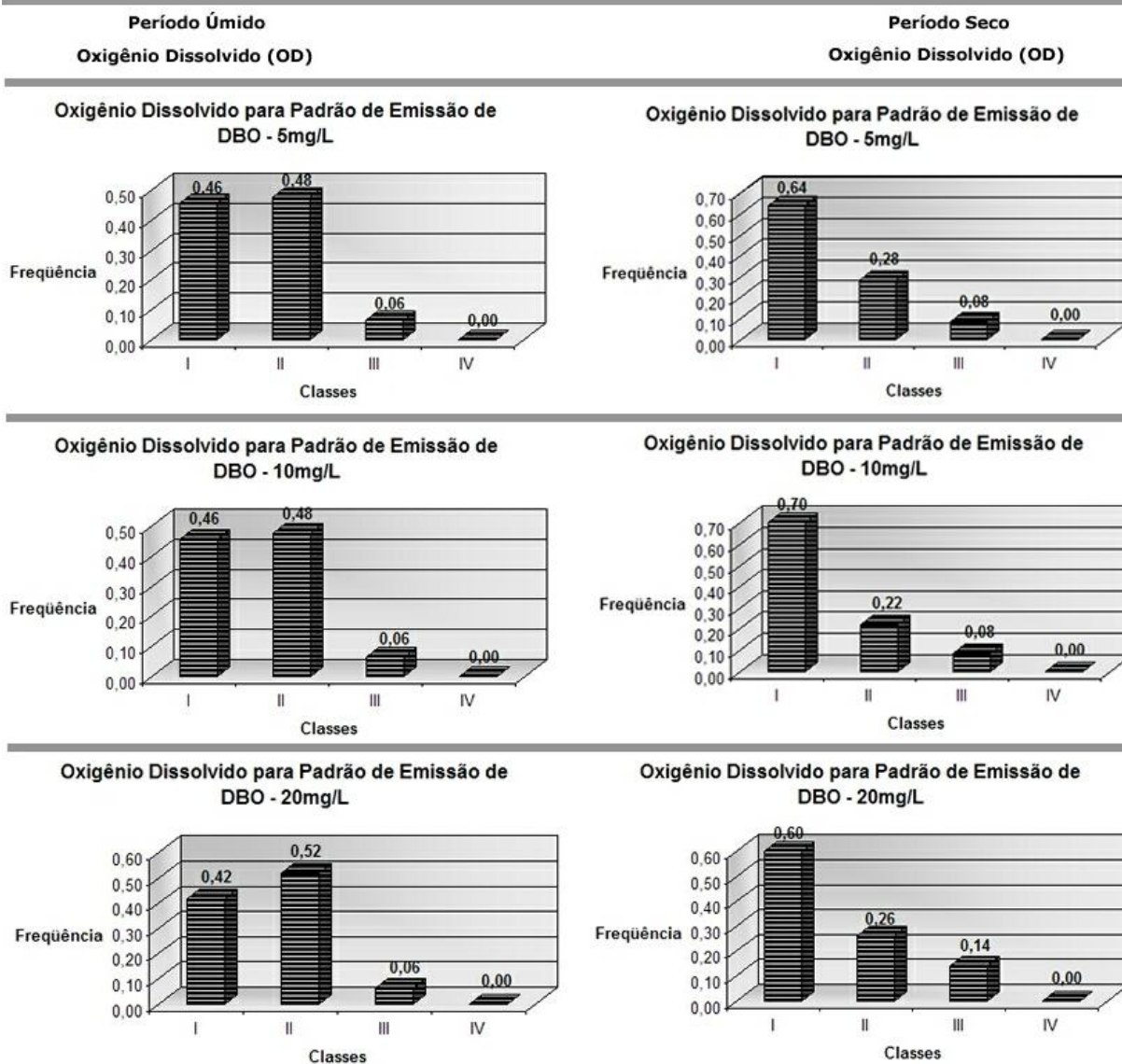
(b) Coliformes termotolerantes

Figura 29. Comparativo entre valores medidos e observados de coliformes termotolerantes para validação do modelo QUAL2E no período seco.

### 5.5.3 Simulação de Cenários

Analisando-se os cenários de simulação para diferentes valores de padrão de emissão de DBO observa-se através de histogramas que, no período úmido, há respostas favoráveis para a variável OD, para emissões menores ou iguais a 40 mg/L, enquanto para o período seco reduz-se a valores menores ou iguais a 10,0 mg/L (ver Figura 30).

#### HISTOGRAMAS PARA PADRÕES DE EMISSÃO DE DBO OBSERVANDO O IMPACTO NA VARIÁVEL OD



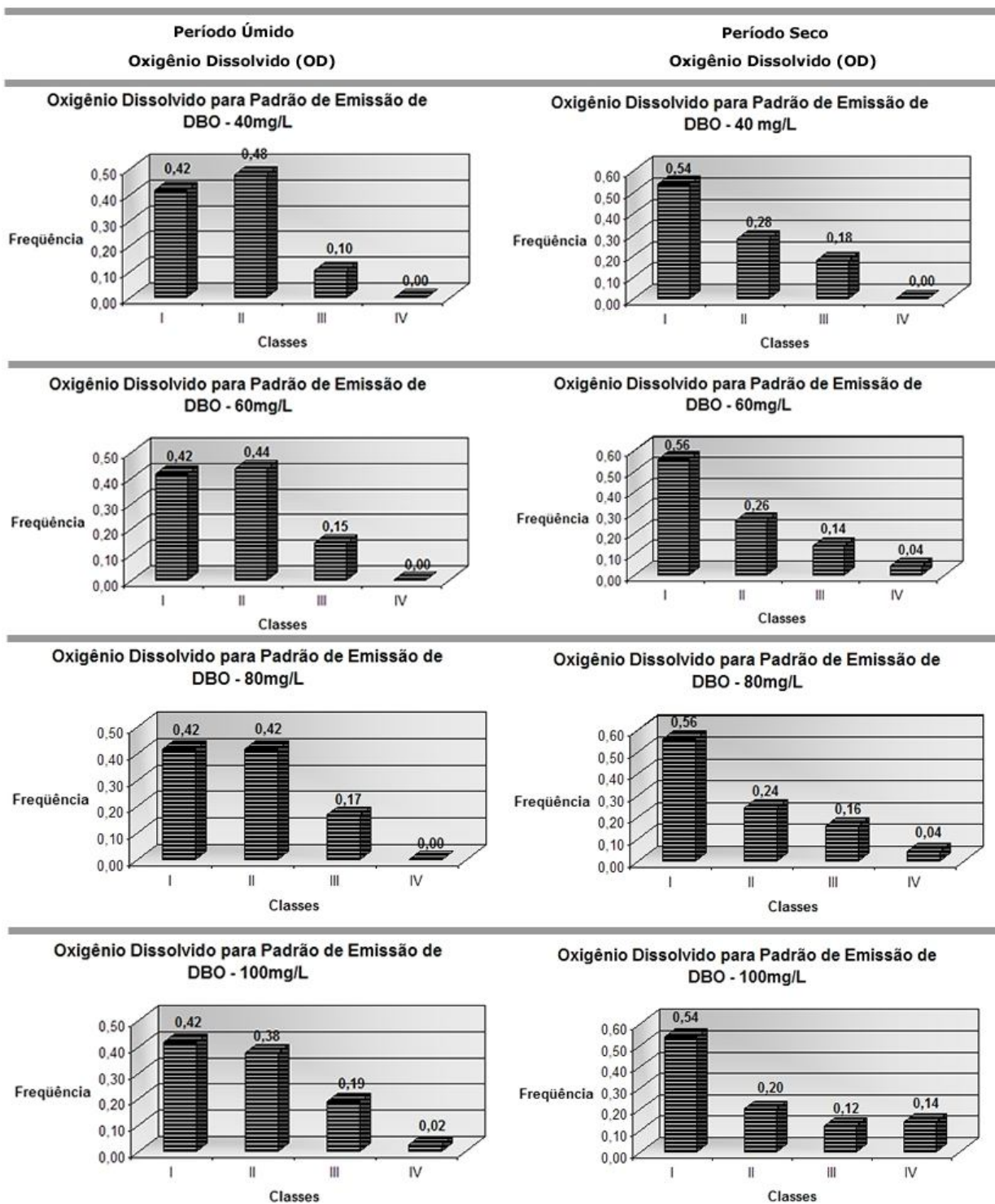
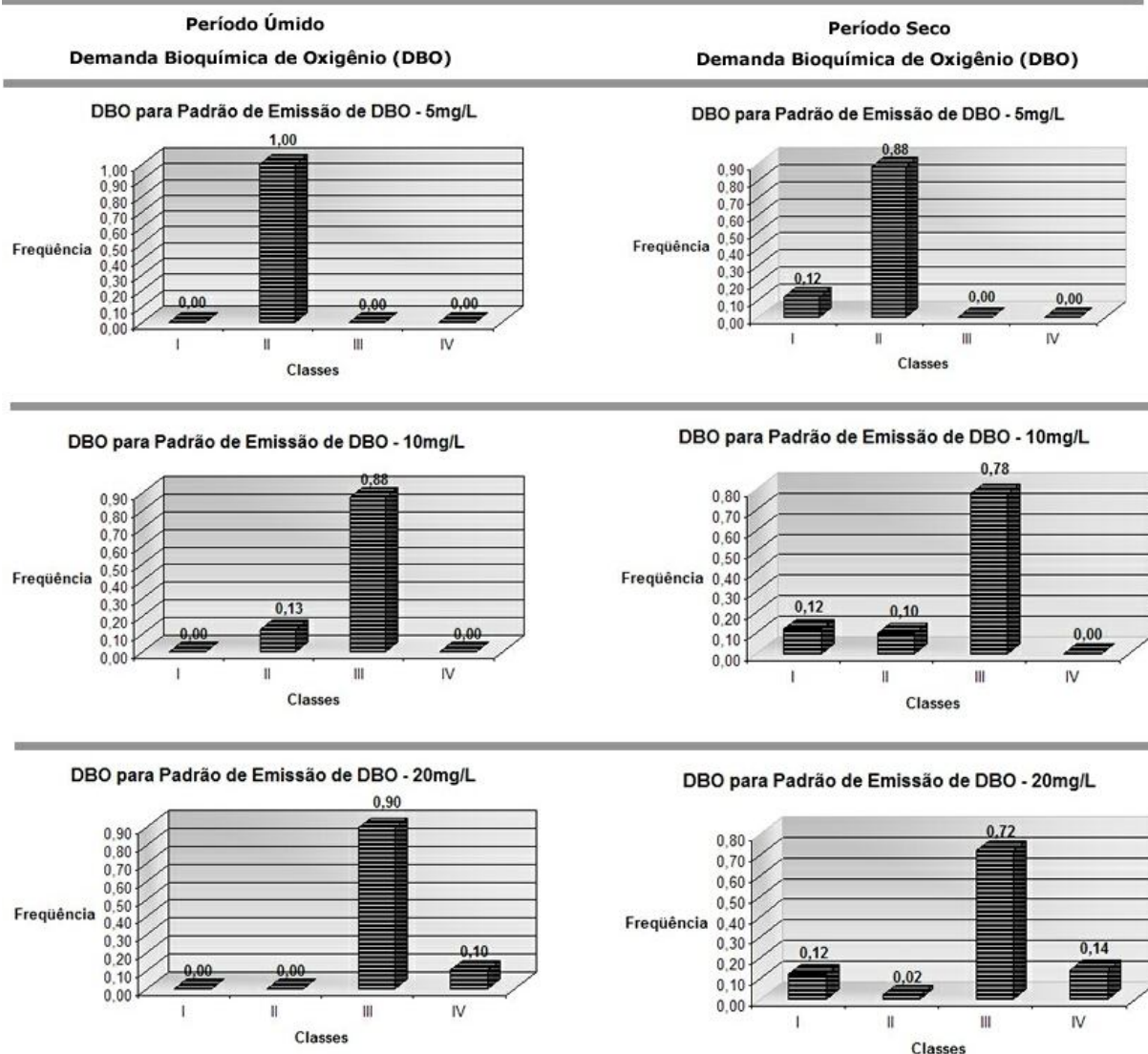


Figura 30. Histogramas comparativos da frequência de Oxigênio Dissolvido para diferentes padrões de emissão de DBO nos períodos úmido e seco no rio Salgado



O padrão de emissão de DBO olhando para OD é 40mg/L no período úmido e 15mg/L no período seco (Figura 30), enquanto para DBO este é 6mg/L, tanto no úmido quanto no seco para Casse II (Figura 31). Já para a Classe III, o padrão de emissão de DBO, olhando para OD é 100mg/L no período úmido e 90mg/L no período seco (Figura 30), enquanto para DBO este é igual a 20mg/L no período úmido e 17mg/L no período seco (Figura 31). A DBO é a variável mais restritiva, portanto é a que condiciona a adoção do padrão de emissão.

### HISTOGRAMAS PARA PADRÕES DE EMISSÃO DE DBO OBSERVANDO O IMPACTO NA VARIÁVEL DBO



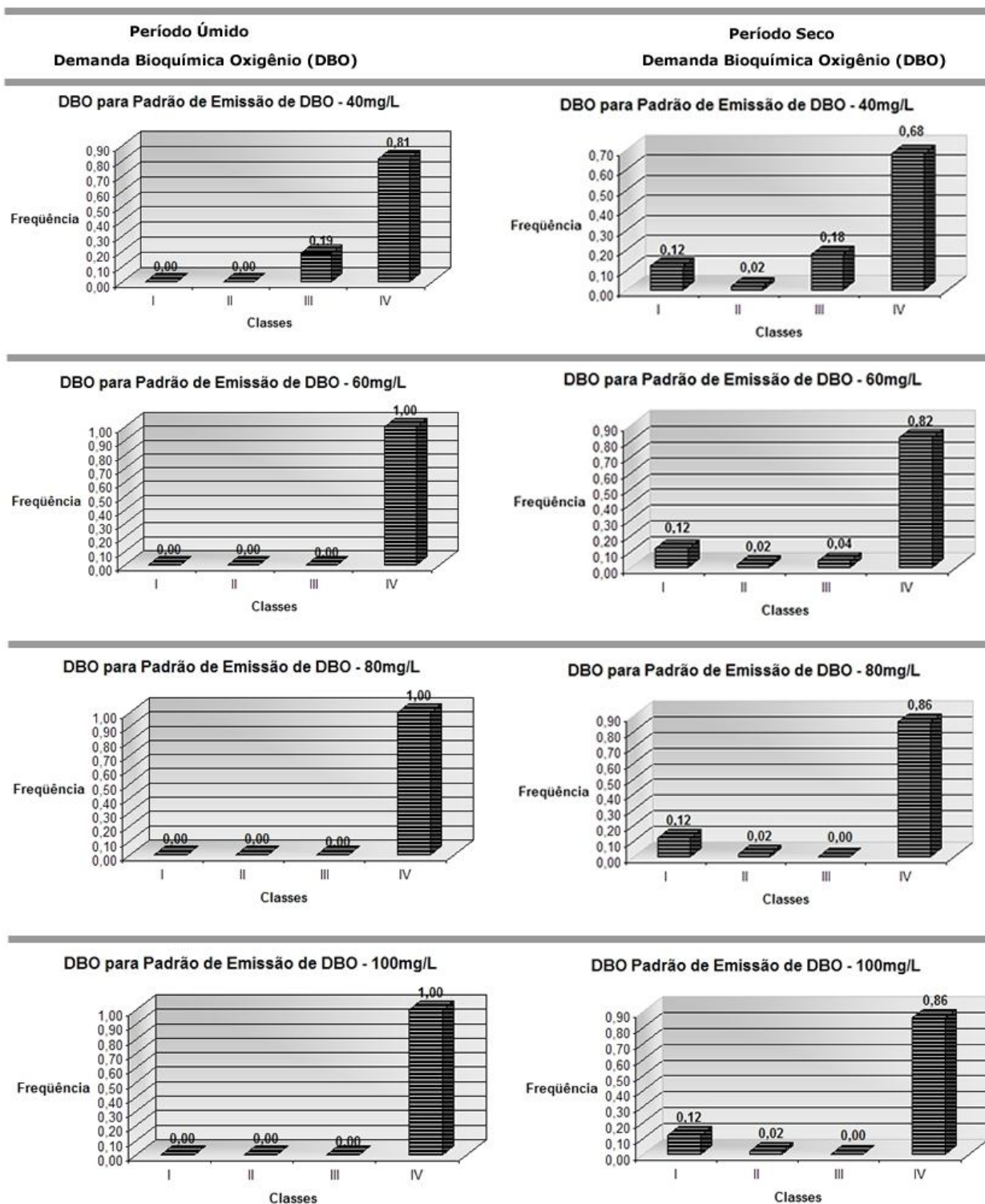
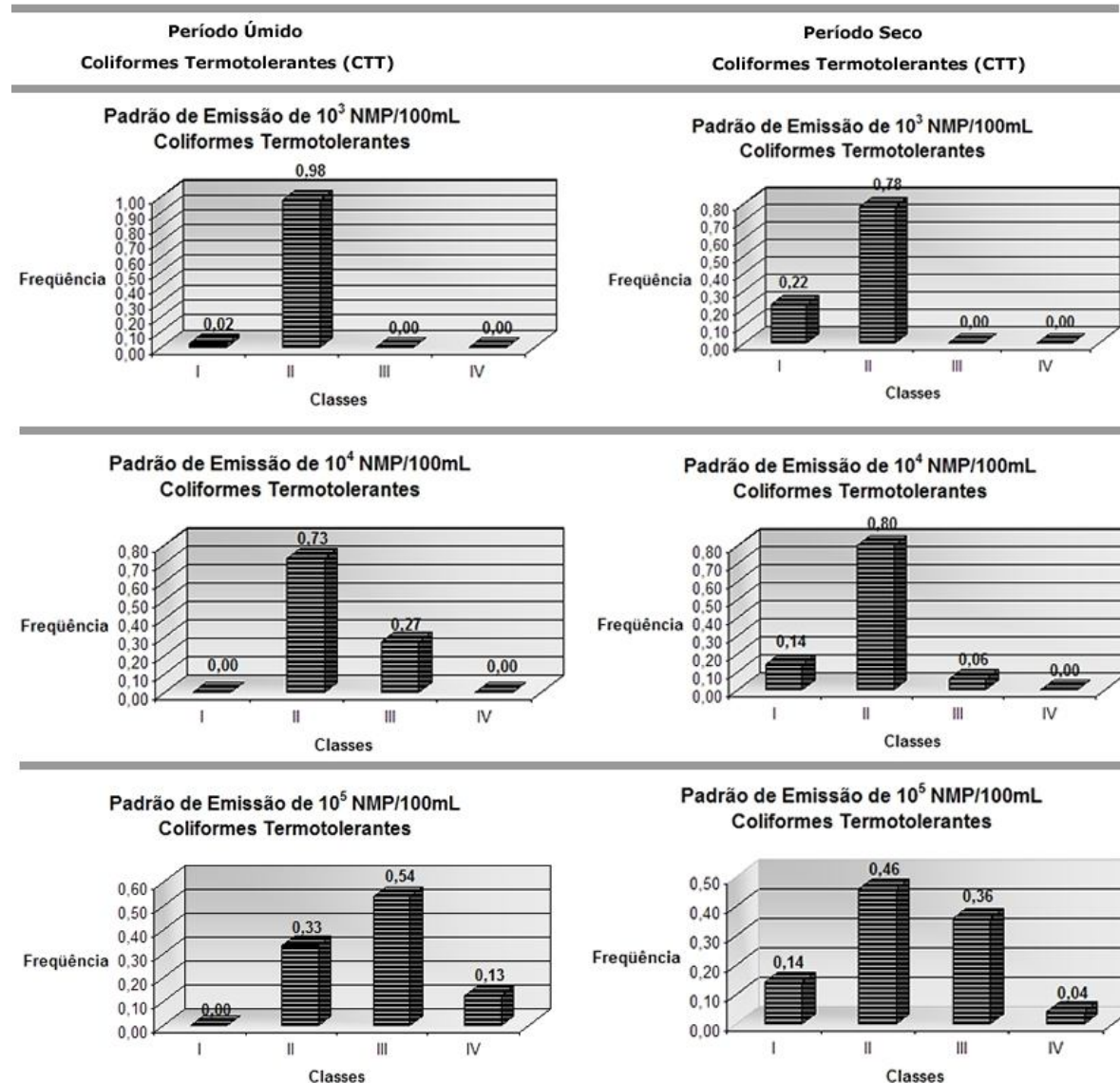


Figura 31. Histogramas comparativos da frequência de Demanda Bioquímica de Oxigênio para diferentes padrões de emissão de DBO nos períodos úmido e seco no rio Salgado.

Já os cenários de simulação para diferentes valores de Padrão de Emissão de coliformes termotolerantes, no período úmido, mostram que o valor de coliformes  $5 \times 10^3$  NMP/100mL é o Padrão de Emissão, enquanto, no período seco, reduz-se para  $10^3$  NMP/100mL para atender o padrão de qualidade da Classe II, escolhida preliminarmente na etapa Experimento Social.

### HISTOGRAMAS PARA PADRÕES DE EMISSÃO COLIFORMES TERMOTOLERANTES



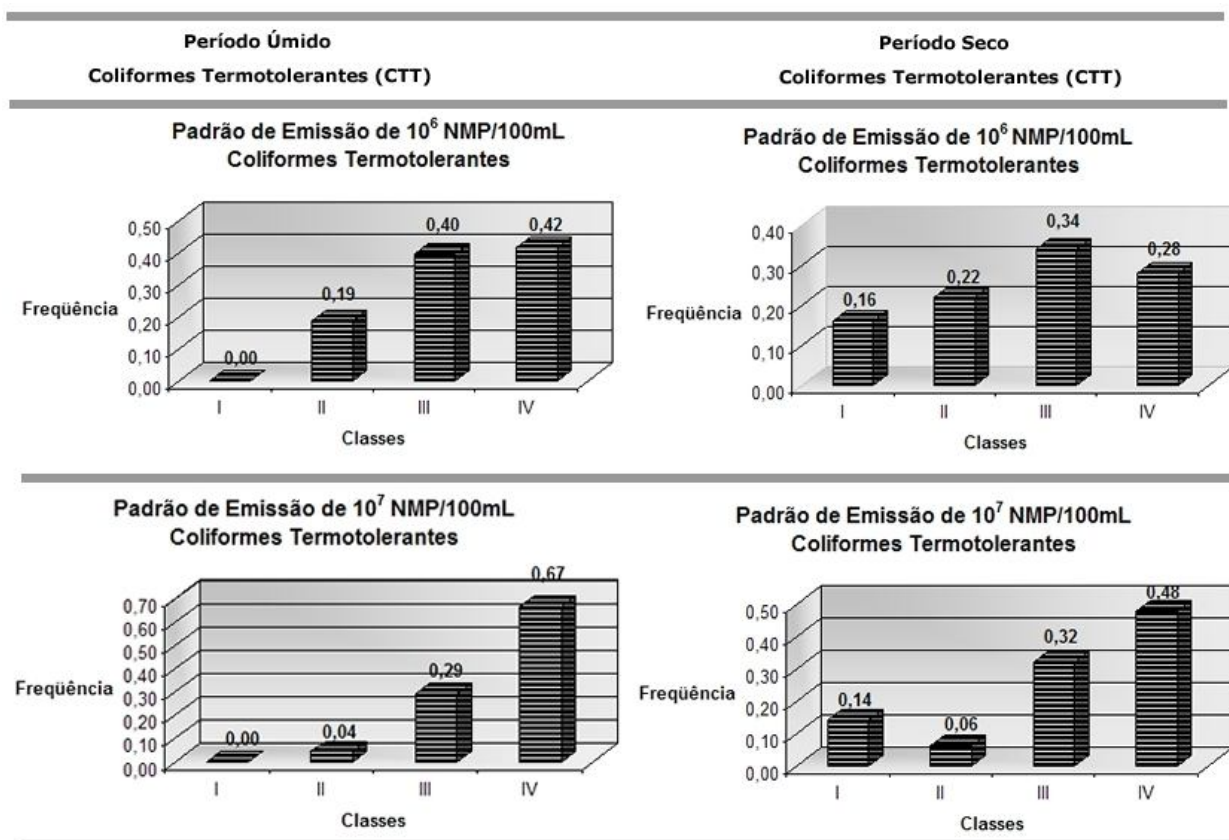


Figura 32. Histogramas comparativos da frequência de Coliformes Termotolerantes para diferentes padrões de emissão de CTT nos períodos úmido e seco no rio Salgado.

A tolerância de uma classe corresponde à frequência de excesso da classe subsequente, sendo assim os gráficos expostos nas Figuras 33 e 34 caracterizam a tolerância para as Classes II e III.

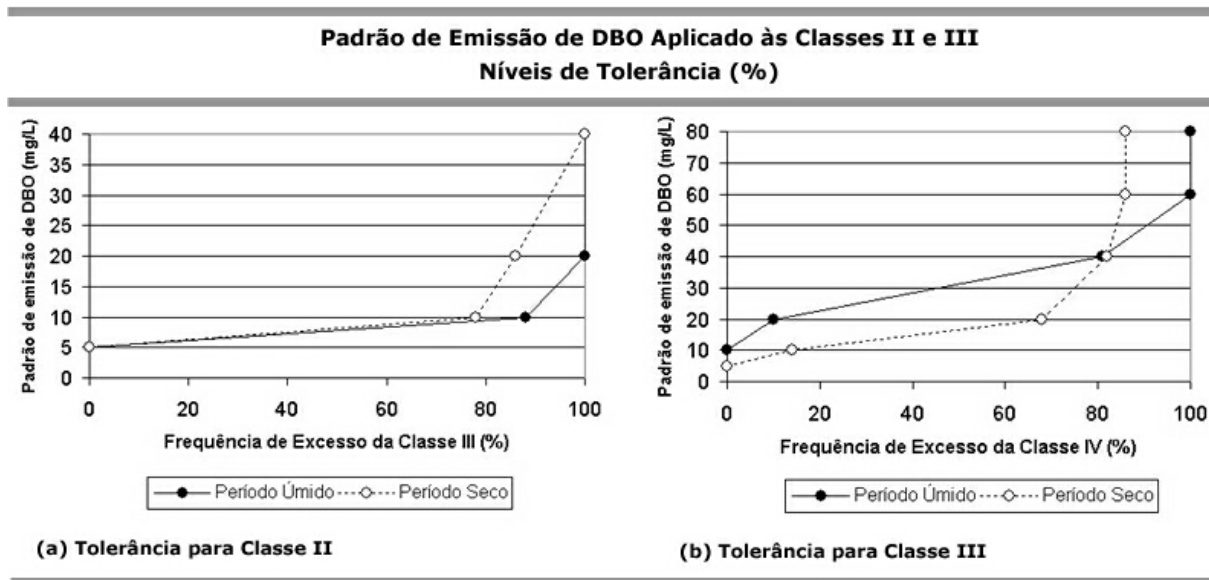


Figura 33. Níveis de Tolerância como resultado da aplicação de diferentes padrões de emissão de DBO nos períodos úmido e seco no rio Salgado.

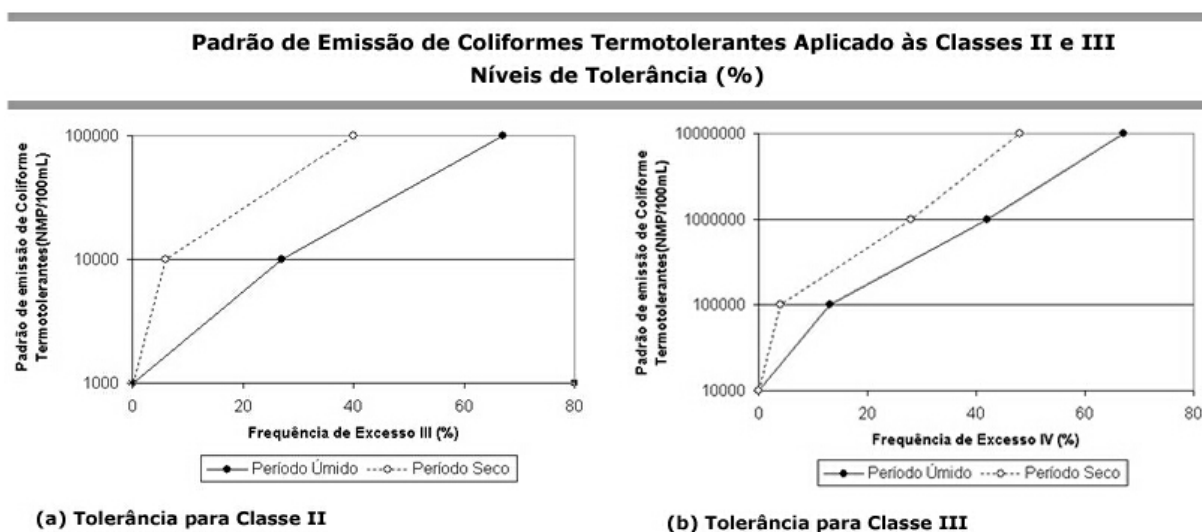


Figura 34. Níveis de Tolerância como resultado da aplicação de diferentes padrões de emissão de Coliformes Termotolerantes nos períodos úmido e seco no rio Salgado.

A Tabela 17 mostra valores de padrão de emissão de DBO para Classe II, no período úmido, variando de 6 a 8 mg/L, e no período seco variando entre 5 a 7 mg/L.

Considerando a ferramenta de gestão de qualidade de água **tolerância**, ao aplicar o enquadramento para a Classe II, observa-se que os valores de emissão de DBO expostos na Tabela 18, são muito baixos para que atividades produtivas como frigoríficos, curtumes e lagoas de estabilização possam funcionar. Já a tolerância aplicada a Classe III conduz a valores de emissão de DBO mais factíveis.

Tabela 18. Padrões de emissão de DBO (mg/L) para diversos níveis de tolerância das Classes II e III, nos períodos úmido e seco para o rio Salgado.

Tolerância	Classe II		Classe III	
	Período Úmido	Período Seco	Período Úmido	Período Seco
5%	6	5	15	14
10%	6	6	20	17
15%	7	6	25	21
20%	8	6	30	24
25%	8	7	35	28

Para o padrão de emissão de coliformes termotolerantes, observa-se que a **Tolerância** para a Classe II, varia entre  $6 \times 10^3$  e  $1 \times 10^4$  NMP/100mL para o período úmido e para o período seco varia entre  $2 \times 10^3$  e  $3 \times 10^3$  NMP/100mL (ver Tabela 19).

Tabela 19. Padrões de emissão de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) para diversos níveis de tolerância das Classes II e III, nos períodos úmido e seco para o rio Salgado.

Tolerância	Classe II		Classe III	
	Período Úmido	Período Seco	Período Úmido	Período Seco
5%	$6 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	$4 \times 10^4$	$1 \times 10^5$
10%	$7 \times 10^3$	$2 \times 10^3$	$8 \times 10^4$	$2 \times 10^5$
15%	$8 \times 10^3$	$2 \times 10^3$	$1 \times 10^5$	$3 \times 10^5$
20%	$9 \times 10^3$	$3 \times 10^3$	$1 \times 10^5$	$5 \times 10^5$
25%	$1 \times 10^4$	$3 \times 10^3$	$2 \times 10^5$	$6 \times 10^5$

Se o rio for enquadrado como Classe II, o padrão de emissão de DBO será de 6mg/L enquanto que o padrão de emissão de CTT estará na faixa entre  $10^3$  e  $10^4$  NMP/100mL. Ver tabela 19.

Tabela 20. Emissão média medida dos agentes poluidores.

Agentes Poluidores	Lançamentos	
	DBO (mg/L)	CTT (NMP/100mL)
Rio Grangeiro	300	10 <sup>7</sup>
Frigorífico Municipal de Juazeiro do Norte	250	10 <sup>4</sup>
Curtume	150	10 <sup>5</sup>
ETE – Juazeiro do Norte	30	10 <sup>3</sup>
Rio Salamanca	60	10 <sup>3</sup>

Observando a tabela 20, verifica-se que os valores do rio Grangeiro e do Curtume são os que mais preocupam, pois esses estariam comprometidos por não serem capazes de alcançar tal eficiência e atender ao padrão de emissão

No entanto, se o rio for enquadrado na Classe III, o padrão de emissão de DBO será na faixa entre 17 e 20 mg/L e CTT na faixa de 10<sup>5</sup> NMP/100mL.

Comparando os valores da tabela com a dos padrões de emissão para a Classe III, fica claro que se torna mais viável atender a este padrão de emissão. Desta forma a modelagem realizada neste trabalho demonstra que a Classe III é a mais apropriada para o enquadramento no estado atual do rio Salgado.



## 6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Da pesquisa realizada, é possível concluir o seguinte: foi comprovada a hipótese de que o rio Salgado, no trecho em estudo, encontra-se poluído, em desconformidade com todas as Classes de qualidade das águas doces, definidas na resolução CONAMA 357/05. No diagnóstico da qualidade de água, realizado em 2005, foi comprovado que pelo menos cinco parâmetros se encontravam em desacordo com os padrões de qualidade: oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes (CTT), nitrogênio amoniacal e fósforo total.

Destacam-se como principais agentes poluidores do rio Salgado no trecho em estudo, os efluentes da zona urbana de Crato através da contribuição do rio Granjeiro, o Frigorífico Municipal de Juazeiro do Norte, o curtume como atividades industriais poluidoras e a Estação de Tratamento de Esgoto do Município de Juazeiro do Norte, bem como o rio Salamanca que no período úmido contribui para o Salgado.

No processo de calibração do modelo QUAL2E foram ajustados apenas dois parâmetros: o coeficiente de decaimento da DBO ( $K_1$ : 0,13 dia<sup>-1</sup>) e o coeficiente de decaimento de coliformes ( $K_5$ : 0,30 dia<sup>-1</sup>). Para a calibração foram usados somente os dados campanha de 03 de maio de 2005;

O processo de validação do modelo QUAL2E, realizado com base em 12 campanhas entre fevereiro de 2006 e janeiro de 2007, considerou a intermitência do rio. Foram considerados dois períodos na análise: o úmido (de janeiro a junho) e o seco (de julho a dezembro). O modelo provou ser válido para o período úmido com coeficientes de Nash e Sutcliffe (1971), NSE, de 0,61; 0,64; e 0,96 para OD, DBO e Coliformes termotolerantes, respectivamente. Para o período seco, embora o desempenho apresentado tenha sido inferior (NSE de 0,49; 0,33; 0,83 para OD, DBO e coliformes termotolerantes, respectivamente), o modelo QUAL2E mostrou-se válido para a análise das grandes tendências de OD e DBO. No que se refere aos Coliformes termotolerantes, o modelo também mostrou excelente eficiência no período seco.

No experimento social, realizado com membros do comitê de Bacia do Salgado, os atores sociais identificaram os “padrões de emissão” como instrumento essencial para a sustentabilidade ambiental da bacia. A proposta desta pesquisa de se admitir uma “tolerância” aos parâmetros de qualidade de água foi aceita pelos membros do comitê como ferramenta válida. Entende-se, aqui, por “tolerância” a frequência máxima como que os parâmetros podem exceder os valores exigidos para a classe de enquadramento desejada, limitada aos valores permissíveis da classe imediatamente posterior. Os membros do comitê indicaram, para enquadramento na Classe II com tolerância de 10%.

A simulação de cenários usando o modelo QUAL2E mostrou valores do padrão de emissão de DBO, para a Classe II nos períodos úmido e seco, de 6 mg/L. Caso o rio seja enquadrado na Classe III, os valores seriam de 20 e 17 mg/L para os períodos úmido e seco, respectivamente. Apesar de a Classe II ser a desejada para o enquadramento do rio pelo comitê, verificou-se que os valores dos padrões de emissões seriam muito baixos para DBO, tornando difícil a sua adoção, pois as atividades poluidoras são incapazes de alcançar tal eficiência no estado atual. Já para o padrão de emissão de Coliformes Termotolerantes, observaram-se valores de  $7 \cdot 10^3$  e  $2 \cdot 10^3$  NMP/100mL (período úmido e seco) para que o rio seja de Classe II, enquanto que, para a Classe III, o padrão de emissão seria da ordem de  $10^5$  NMP/100mL, tanto para o período úmido quanto para o período seco.

De acordo com a análise feita nesta tese, o enquadramento mais adequado para o trecho do rio Salgado entre a Fonte da Batateira e a Cachoeira de Missão Velha, nas condições atuais é a Classe III com tolerância de 10%.

Portanto, com base no estudo de caso do rio Salgado, CE, foi possível determinar os padrões de emissão de um rio intermitente do semi-árido, comprovando a hipótese de que tal intermitência dificulta, mas não impossibilita o processo de enquadramento dos mesmos.

Recomenda-se:

(a) que as fontes poluidoras sejam monitoradas periodicamente, a fim de se garantir que suas concentrações não ultrapassem os padrões de emissão;

(b) que seja realizado esforço para que as legislações incorporem mecanismos para regulamentar e controlar a poluição difusa, posto que a resolução CONAMA 357/05 não normaliza esse tipo de poluição. Esta varia em função de ação antrópica e é decorrente de

atividades que contribuem para a poluição dos corpos d'água (erosão, contaminação por agrotóxicos e adubação química);

(c) que sejam realizados novos trabalhos para análise do impacto de metais pesados, agrotóxicos e outros parâmetros de relevância advindos dos processos de galvanoplastia, curtumes e atividades agrícolas.

(d) que as legislações dos Estados brasileiros sejam atualizadas de modo a definir o Enquadramento dos corpos d'água como instrumento de gestão de recursos hídricos, delineando, um desenvolvimento responsável e ambientalmente correto;

(e) que a legislação brasileira incorpore, no que se refere à política de enquadramento dos corpos hídricos, a existência de sazonalidade, especialmente do ambiente semi-árido, com a adoção do conceito de tolerância.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama do Enquadramento dos Corpos d'água**, Cadernos de Recursos Hídricos, Brasília – DF, 2005.

APHA. AWWA. WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19 ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution control Federation, 1995, 1134p.

ARAÚJO, F. F. V.; **Simulação da qualidade de água e hidráulica para avaliar impactos dos efluentes da carcinicultura em trecho do Baixo Jaguaribe**. Fortaleza, CE: 2005. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará.

ARAÚJO, J. C. Riscos de eutrofização de pequenos açudes no semi-árido. In: V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2000, Natal. ABRH, 2000. v. 1. p. 214-221

ARAÚJO, J. C. ; OLIVEIRA, M. R. L. ;MOTTA, S. . Estudo experimental dos coeficientes de desoxigenação e reaeração do Rio Cocó, Ceará. In: VIII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1998, João Pessoa. ABES / APRH, 1998. v. 2. p. 324-333

BARTH, F. T., **Evolução nos aspectos institucionais e no gerenciamento de recursos hídricos no Brasil**. In: Freitas, M. A. V. (org). O estado das águas no Brasil –1999 – Perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos. Brasília: ANEEL, 1999.

BOWIE, G.L. et al. **Rates, Constants and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling**, EPA/600/3-85/040, 1985.

BRASIL. Resolução CONAMA nº357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos d'água, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Decreto-lei nº 9.433, de 08 de Janeiro de 1997. Estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 1997.

BRANNSTROM, C., Decentralising water-resources management in Brazil. **Workshop on Decentralization and the Environment**. Proceedings. Bellagio, Italy. 2001.

BEIERLE, T. C., Public participation in environmental decisions: an evaluation framework using social goals. Resources for the Future. **Discussion Paper**, 1998, 99-06.

BROWN, L. C.; BARNWELL, T. O. **The Enhanced Stream Water Quality Models Qual2E and Qual2E-Uncas – Documentation and Users Manual**, 1987, USEPA/600/3-87/007.

CEARÁ, **Coleta e preservação de amostras de água: Recomendações , Cuidados e Procedimentos**, COGERH, Fortaleza, 2004.

CEARÁ. Decreto-lei nº 26.603, de 14 de maio de 2002. Cria o Comitê da Sub-Bacia Hidrográfica do Salgado (CSBH – Salgado), **Diário Oficial do Estado do Ceará**, Fortaleza, 2002.

CHAPRA, SC **Surface Water-quality Modeling**. McGraw-Hill, New York, (1997), 844p.

CHAUDHURY, R. R.; SOBRINHO J. A.; WRIGHT R. M.; SREENIVAS M. Dissolved oxygen modeling of the Blackstone River (Northeastern United States). **Water Resources**, v. 8, 1998, p.2400-2412,

CHEN, J.; Adams, B. J. A derived probability distribution approach to stormwater quality modeling. **Advances in Water Resources** 30 (2007) 80–100

CHERNICHARO, C.A.L.; FERRARI, Jr.; SILVA, P.C. et al. **Desenvolvimento tecnológico para controle ambiental nos pequenos e médios curtumes de Minas Gerais**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 1996.

CIRAVOLO L.; INDELICATO, S.; VIVIANI, G. Stream Water quality models: an application to the Simeto River Basin. **Measurements and Modelling in Environmental Pollution**, 2000, p. 53-62.

COX B.A. A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. **The Science of the Total Environment**. 2003, p. 335–377.

DATSENKO, I. S. ; SANTAELLA, S. T. ; ARAÚJO, J. C. Peculiaridades do processo de eutrofização dos açudes de região semi-árida. In: XX Congresso Brasileiro de Saneamento e Engenharia Ambiental, 1999, Rio de Janeiro. ABES, 1999

DNMET. **Normais Climatológicas**, 1961-1990, Brasília, 1993.

FERRARI JÚNIOR, M.J.; SILVA, P. C.; CHERNICHARO, C.A.L.; VON SPERLING, M. Tratamento de Efluentes Líquidos de Curtumes: Uma Concepção Alternativa e Apresentação de Custos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1997, Foz do Iguaçu. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1997.

FISCHER, Evandro Gaiad. **Determinação do Grau de Contaminação do Ribeirão do Feijão através de Levantamento de Dados e Modelo Matemático de Qualidade de Água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

FRITZSONS E.; HINDI E. C.; MANTOVANI L. E.; RIZZI N. E. As alterações da qualidade da água do rio Capivari com o deflúvio: um instrumento de diagnóstico de qualidade ambiental. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2003.

GASTALDINI, M.do C.C.; SEFFRIM, G.F.F.; PAZ, M.F. Diagnóstico atual e previsão futura da qualidade das águas do rio Ibicuí utilizando o modelo qual2e. **Engenharia sanitária e ambiental** Vol. 7 - Nº 3 - jul/set 2002 e Nº 4 - out/dez 2002, 129-138

HOLVOETA K. M. A.; SEUNTJENS, P.; VANROLLEGHEMA, P. A., Monitoring and modeling pesticide fate in surface waters at the catchment scale. **Ecological Modelling** 209 (2007) 53–64

JOHNSON, E. K.; MORAN, D.; VINTENC, A. J. A., A framework for valuing the health benefits of improved bathing water quality in the River Irvine catchment. **Journal of Environmental Management** 87 (2008) 633–638

KARMAKAR, S.; MUJUMDAR, P.P. A two-phase grey fuzzy optimization approach for water quality management of a river system, **Advances in Water Resources** 30 (2007) 1218–1235

KANNEL, P. R.; LEE, S.; LEE, Y. S., Assessment of spatial–temporal patterns of surface and ground water qualities and factors influencing management strategy of groundwater system in an urban river corridor of Nepal. **Journal of Environmental Management** 86 (2008) 595–604

KANNEL, P. R.; LEE, S.; LEE, Y. S.; KANEL S.R.; PELLETIER G.J., Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. **Ecological Modelling** 202 (2007) 503–517

KERACHIAN, R.; KARAMOUZ, M. A stochastic conflict resolution model for water quality management in reservoir–river systems, **Advances in Water Resources** 30 (2007) 866–882

LANNA, A. E. L., Da gestão participativa da água que (não) temos para a gestão participativa da água que queremos. **I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste. Anais...** Brasília, 2000.

LUO, B.; YOU, J., A watershed-simulation and hybrid optimization modeling approach for water-quality trading in soil erosion control, **Advances in Water Resources** 30 (2007) 1902–1913

MAILLARDA, P., SANTOS, N. A. P., A spatial-statistical approach for modeling the effect of non-point source pollution on different water quality parameters in the Velhas river watershed – Brazil. **Journal of Environmental Management** 86 (2008) 158–170

MEDEIROS, P.H.A., ARAÚJO, J.C. e SABIÁ, R.J., Curva de permanência de vazão para modelagem da qualidade da água: Estudo de caso do Alto Rio Salgado, Ce. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador, BA (2008).

MENDONÇA, L. A. R. **Modelagem Matemática, Química e Isotópica de uma Bateria de Poços na Cidade de Juazeiro do Norte – CE.** Fortaleza, CE: 1996. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará, 1996.

MORO, M. J.; WERE, A., VILLAGARCÍA, L., CANTO Y., DOMINGO F. Dew measurement by Eddy covariance and wetness sensor in a semiarid ecosystem of SE Spain. **Journal of Hydrology** (2007) 335, 295–302

NEWMAN, P. J., NIXON, C. N. e REES, Y. J. Surface water quality monitoring, classification, biological assessment and standards. In: *Wat. Sci. Tech.*, 30 (10), 1-10, (1994).

NING, S. K.; NI-BIN CHANG, Yang, L., CHEN, H. W. e HSU, H. Y. Assessing pollution prevention program by QUAL2E simulation analysis for the Kao-Ping River Basin, Taiwan. **Journal of Environmental Management**. 2001, p.61–76.

NOBUYOSHI, C., GONDA, J. Avaliação do Desempenho de Lagoas de Estabilização no Tratamento de Efluentes de Matadouro. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. In: ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1997, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Abes, 1997.

O'CONNOR, D.J., DOBBINS, W.E. Mechanism of reaeration in natural streams. *Trans. Am. Soc. Civil Engin.*, 123, 641-666, 1958.

PALIWAL, R., Water quality modelling of the river Yamuna (India) using QUAL2E UNCAS, **Journal of Environmental Management**, 2006.

PALMIERI, V; CARVALHO. R. J. Qual2e model for the Corumbataý River, **Ecological Modeling**, v 198, 2006, p. 269–275.

PARK S. S., LEE Y. S. A water quality modeling study of the Nakdong River Korea. **Ecological Modelling**, 2002, p. 65–75.

RECKHOW K. H. Water quality simulation modeling and uncertainty analysis for risk assessment and decision making, **Ecological Modelling**, 1994, p. 1-20

RIBAROVA, I.; NINOV, P.; COOPERC, D., Modeling nutrient pollution during a .rst .ood event using HSPF software: Iskar River case study, Bulgaria. **Ecological Modelling** 211, 2008, p. 241–246

SÁ, J. A. C. A.; CAMPOS, L. R.. O Direito e a Gestão das Águas em pauta Gestão das Águas: Princípios e Prática. Fortaleza: ABRH, 2001, p. 207-225.

SABIÁ, R. J., RODRIGUES, N. C. D., FONTENELE, S. de B., ARAÚJO, J. C.. Mapeamento e cadastramento de efluentes no município de Crato/CE. Encontro Intercontinental da Natureza. **Anais...** Fortaleza, 2005.

SHANAHAN, P. et al. River Water Quality Modeling: II. Problemas of the Art. **Water Science and Technology**, v. 38, n. 11, p. 245-252, 1998.

SOUZA, M. P. A cobrança e a água como bem comum. *Revista brasileira de engenharia*, vol 13, 1995, pág 25-55.

STAMOU, A. I.; KAMIZOULIS, G., Estimation of the effect of the degree of sewage treatment on the status of pollution along the coastline of the Mediterranean Sea using broad scale modeling. **Journal of Environmental Management** (2008) 1–9

STAPLETONA, C. M.; WYERA, M. D.; CROWTHERA. J.; MCDONALD, A. T.; KAYA, D.; GREAVESC, J.; WITHERC, A.; WATKINS, J.; FRANCIS, C.; HUMPHREYA, N.;

BRADFORDA, M., Quantitative catchment modelling to apportion faecal indicator organism budgets for the Ribble system, the UK's sentinel drainage basin for Water Framework Directive research. **Journal of Environmental Management** 87 (2008) 535–550

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília: ANEEL; ANA, 2001. 328 p.

SILVA, J. A. **Direito Ambiental Constitucional**. São Paulo: Malheiros, 1999.

SILVEIRA, C. A. C.; MEJIA, L.; FERREIRA, R. S. A.; GUILHON, L. G. F.; BARROSO DA SILVA, O.; FREITAS, M. A. V. Água e energia elétrica. In: Freitas, M. A. V. (org). **O estado das águas no Brasil – 1999 – Perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos**. Brasília: ANEEL, 1999.

STREETER, HW; Phelps EB **A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. III. Factors concerning the phenomena of oxidation and reaeration**. US Public Health Service Bulletin, 1925, nº 146.

SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

XIA, Y. Q.; SHAO, M. A., Soil water carrying capacity for vegetation: A hydrologic and biogeochemical process model solution. **Ecological Modelling** 214, 2008, 112–124

WANG, M.; WEBBER, M.; FINLAYSON, B.; BARNETT, J. Rural industries and water pollution in China. **Journal of Environmental Management** 86, 2008, 648–659



## APÊNDICE

Apêndice I. Valores observados dos parâmetros OD, DBO e Coliformes Termotolerantes, no rio Salgado.

<b>CAMPANHA 1 (09/02/2006)</b>						
<b>Trecho</b>	<b>Seção</b>	<b>Localização (Km)</b>	<b>Temp. (° C)</b>	<b>OD (mg/L)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Col. Termotolerantes (NMP/100mL)</b>
01	S0	0.00	21,00	8,00	6,00	0,00
01	S1	8.00	23,00	7,68	73,50	43x10 <sup>3</sup>
02	S2	12.00	23,00	2,89	126,60	23x10 <sup>2</sup>
03	S3	19.00	24,00	3,69	82,20	23x10 <sup>2</sup>
03	S4	23.00	24,00	-	325,50	93x10 <sup>3</sup>
03	S5	27.00	25,00	2,89	112,80	23x10 <sup>3</sup>
04	S6	36.00	25,00	3,98	82,80	15x10 <sup>2</sup>
05	S7	44.00	25,00	6,01	60,00	93x10 <sup>2</sup>
05	S8	50.00	25,00	5,43	51,50	4x10 <sup>2</sup>
<b>CAMPANHA 2 (09/03/2006)</b>						
<b>Trecho</b>	<b>Seção</b>	<b>Localização (Km)</b>	<b>Temp. (° C)</b>	<b>OD (mg/L)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Col. Termotolerantes (NMP/100mL)</b>
01	S0	0.00	21,00	8,00	6,00	0,00
01	S1	8.00	23,00	4,34	24,75	23x10 <sup>4</sup>
02	S2	12.00	23,00	2,60	39,50	23x10 <sup>4</sup>
03	S3	19.00	24,00	2,53	62,00	15x10 <sup>2</sup>
03	S4	23.00	24,00	2,68	79,00	9x10 <sup>4</sup>
03	S5	27.00	25,00	3,62	48,00	9x10 <sup>3</sup>
04	S6	36.00	25,00	3,04	51,00	93x10 <sup>3</sup>
05	S7	44.00	25,00	4,71	68,25	9x10 <sup>3</sup>
05	S8	50.00	25,00	2,60	65,25	23x10 <sup>2</sup>
<b>CAMPANHA 3 (06/04/2006)</b>						
<b>Trecho</b>	<b>Seção</b>	<b>Localização (Km)</b>	<b>Temp. (° C)</b>	<b>OD (mg/L)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Col. Termotolerantes (NMP/100mL)</b>
01	S0	0.00	21,00	8,00	6,00	-
01	S1	8.00	23,00	4,84	39,75	-
02	S2	12.00	23,00	4,15	40,00	-
03	S3	19.00	24,00	4,01	125,00	-
03	S4	23.00	24,00	4,16	100,00	-
03	S5	27.00	25,00	2,87	98,40	-
04	S6	36.00	25,00	4,16	98,50	-
05	S7	44.00	25,00	4,16	37,12	-
05	S8	50.00	25,00	-	-	-
<b>CAMPANHA 4 (18/05/2006)</b>						
<b>Trecho</b>	<b>Seção</b>	<b>Localização (Km)</b>	<b>Temp. (° C)</b>	<b>OD (mg/L)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Col. Termotolerantes (NMP/100mL)</b>
01	S0	0.00	21,00	8,00	6,00	0,00
01	S1	8.00	23,00	6,41	109,87	93x10 <sup>3</sup>
02	S2	12.00	23,00	3,47	141,00	15x10 <sup>3</sup>
03	S3	19.00	24,00	0,00	108,00	93x10 <sup>2</sup>
03	S4	23.00	24,00	3,26	228,00	23x10 <sup>3</sup>
03	S5	27.00	25,00	5,43	130,80	-
04	S6	36.00	25,00	5,25	119,50	15x10 <sup>3</sup>
05	S7	44.00	25,00	0,00	77,25	9x10 <sup>2</sup>
05	S8	50.00	25,00	5,43	81,75	-

<b>CAMPANHA 5 (20/06/2006)</b>						
<b>Trecho</b>	<b>Seção</b>	<b>Localização (Km)</b>	<b>Temp. (° C)</b>	<b>OD (mg/L)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Col. Termotolerantes (NMP/100mL)</b>
01	S0	0.00	21,00	8,00	6,00	0,00
01	S1	8.00	23,00	4,75	41,10	23x10 <sup>2</sup>
02	S2	12.00	23,00	3,78	54,37	21x10 <sup>3</sup>
03	S3	19.00	24,00	3,22	42,37	23x10 <sup>3</sup>
03	S4	23.00	24,00	2,49	36,37	43x10 <sup>4</sup>
03	S5	27.00	25,00	2,98	63,37	43x10 <sup>3</sup>
04	S6	36.00	25,00	5,39	72,60	23x10 <sup>3</sup>
05	S7	44.00	25,00	5,63	82,20	9x10 <sup>2</sup>
05	S8	50.00	25,00	5,23	63,00	43x10 <sup>2</sup>
<b>CAMPANHA 6 (18/07/2006)</b>						
<b>Trecho</b>	<b>Seção</b>	<b>Localização (Km)</b>	<b>Temp. (° C)</b>	<b>OD (mg/L)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Col. Termotolerantes (NMP/100mL)</b>
01	S0	0.00	21,00	8,00	6,00	0,00
01	S1	8.00	23,00	-	217,50	21x10 <sup>3</sup>
02	S2	12.00	23,00	2,41	130,12	93x10 <sup>3</sup>
03	S3	19.00	24,00	2,01	39,37	23x10 <sup>4</sup>
03	S4	23.00	24,00	2,41	51,37	4x10 <sup>3</sup>
03	S5	27.00	25,00	2,49	33,00	93x10 <sup>3</sup>
04	S6	36.00	25,00	3,94	21,60	4x10 <sup>4</sup>
05	S7	44.00	25,00	5,07	17,00	9x10 <sup>2</sup>
05	S8	50.00	25,00	5,15	14,40	-
<b>CAMPANHA 7 (15/08/2006)</b>						
<b>Trecho</b>	<b>Seção</b>	<b>Localização (Km)</b>	<b>Temp. (° C)</b>	<b>OD (mg/L)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Col. Termotolerantes (NMP/100mL)</b>
01	S0	0.00	21,00	8,00	6,00	0,00
01	S1	8.00	23,00	2,90	199,20	21x10 <sup>5</sup>
02	S2	12.00	23,00	3,10	92,62	23x10 <sup>4</sup>
03	S3	19.00	24,00	7,70	16,80	9x10 <sup>3</sup>
03	S4	23.00	24,00	1,50	49,80	43x10 <sup>4</sup>
03	S5	27.00	25,00	3,10	33,70	23x10 <sup>4</sup>
04	S6	36.00	25,00	5,40	7,80	9x10 <sup>3</sup>
05	S7	44.00	25,00	6,55	47,70	15x10 <sup>2</sup>
05	S8	50.00	25,00	8,41	42,60	9x10 <sup>2</sup>
<b>CAMPANHA 8 (21/09/2006)</b>						
<b>Trecho</b>	<b>Seção</b>	<b>Localização (Km)</b>	<b>Temp. (° C)</b>	<b>OD (mg/L)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Col. Termotolerantes (NMP/100mL)</b>
01	S0	0.00	21,00	8,00	6,00	0,00
01	S1	8.00	23,00	1,05	787,50	75x10 <sup>2</sup>
02	S2	12.00	23,00	2,09	235,80	9x10 <sup>5</sup>
03	S3	19.00	24,00	1,31	591,00	15x10 <sup>3</sup>
03	S4	23.00	24,00	1,40	486,00	9x10 <sup>4</sup>
03	S5	27.00	25,00	0,96	787,50	43x10 <sup>4</sup>
04	S6	36.00	25,00	3,06	297,50	23x10 <sup>2</sup>
05	S7	44.00	25,00	2,62	289,00	4x10 <sup>3</sup>
05	S8	50.00	25,00	9,10	133,20	4x10 <sup>3</sup>
<b>CAMPANHA 9 (19/10/2006)</b>						
<b>Trecho</b>	<b>Seção</b>	<b>Localização (Km)</b>	<b>Temp. (° C)</b>	<b>OD (mg/L)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Col. Termotolerantes (NMP/100mL)</b>
01	S0	0.00	21,00	8,00	6,00	0,00

01	S1	8.00	23,00	0,70	355,50	15x10 <sup>4</sup>
02	S2	12.00	23,00	1,66	157,50	21x10 <sup>4</sup>
03	S3	19.00	24,00	1,13	276,00	43x10 <sup>5</sup>
03	S4	23.00	24,00	0,70	310,50	23x10 <sup>4</sup>
03	S5	27.00	25,00	1,40	117,75	43x10 <sup>3</sup>
04	S6	36.00	25,00	2,88	136,20	21x10 <sup>3</sup>
05	S7	44.00	25,00	1,48	393,00	23x10 <sup>3</sup>
05	S8	50.00	25,00	6,91	23,70	9x10 <sup>3</sup>

**CAMPANHA 10 (16/11/2006)**

Trecho	Seção	Localização (Km)	Temp. (° C)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	Col. Termotolerantes (NMP/100mL)
01	S0	0.00	21,00	8,00	6,00	0,00
01	S1	8.00	23,00	0,80	135,60	93x10 <sup>5</sup>
02	S2	12.00	23,00	1,14	39,00	23x10 <sup>4</sup>
03	S3	19.00	24,00	0,88	29,40	93x10 <sup>4</sup>
03	S4	23.00	24,00	0,56	67,80	43x10 <sup>5</sup>
03	S5	27.00	25,00	1,69	24,00	15x10 <sup>4</sup>
04	S6	36.00	25,00	1,36	1114,40	93x10 <sup>3</sup>
05	S7	44.00	25,00	8,45	25,80	23x10 <sup>3</sup>
05	S8	50.00	25,00	9,58	9,60	43x10 <sup>2</sup>

**CAMPANHA 11 (12/12/2006)**

Trecho	Seção	Localização (Km)	Temp. (° C)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	Col. Termotolerantes (NMP/100mL)
01	S0	0.00	21,00	8,00	6,00	0,00
01	S1	8.00	23,00	0,08	194,62	93x10 <sup>5</sup>
02	S2	12.00	23,00	2,17	43,50	23x10 <sup>5</sup>
03	S3	19.00	24,00	0,96	152,25	23x10 <sup>4</sup>
03	S4	23.00	24,00	0,32	69,60	93x10 <sup>4</sup>
03	S5	27.00	25,00	1,36	70,50	39x10 <sup>5</sup>
04	S6	36.00	25,00	2,89	25,50	23x10 <sup>3</sup>
05	S7	44.00	25,00	4,42	23,10	23x10 <sup>3</sup>
05	S8	50.00	25,00	6,44	57,00	93x10 <sup>4</sup>

**CAMPANHA 12 (23/01/2007)**

Trecho	Seção	Localização (Km)	Temp. (° C)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	Col. Termotolerantes (NMP/100mL)
01	S0	0.00	21,00	8,00	6,00	-
01	S1	8.00	23,00	2,90	114,45	-
02	S2	12.00	23,00	2,06	119,49	-
03	S3	19.00	24,00	2,21	125,89	-
03	S4	23.00	24,00	2,75	86,86	-
03	S5	27.00	25,00	1,37	88,93	-
04	S6	36.00	25,00	1,91	63,37	-
05	S7	44.00	25,00	3,51	49,23	-
05	S8	50.00	25,00	3,97	73,44	-

Apêndice 2. Questionário aplicado na etapa de experimento social.



## QUESTIONÁRIO

INSTITUIÇÃO: \_\_\_\_\_

ENTREVISTADO (A): \_\_\_\_\_

CARGO: \_\_\_\_\_

DATA: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

01) Indique em escala de prioridade as atividades econômicas que merecem ser beneficiadas com o uso da água favorecendo o desenvolvimento da região.

- Agricultura (Familiar, irrigação e horticultura)
- Abastecimento público
- Recreação
- Indústria
- Pecuária
- Aqüicultura (Criação de peixes)
- Paisagismo

02) Considerando a existência de cinco zonas fisiográficas bem definidas, sendo elas:

**Encosta**

**Zona urbana de Crato**

**Zona urbana de Juazeiro**

**Zona rural de Juazeiro**

**Zona rural de Missão Velha**

2.1 Em escala de prioridade indique os principais problemas ambientais relacionados ao uso da água.

I - Presença de lixo

II - Presença de entulho de construção civil

III - Lançamento de esgoto doméstico sem tratamento

IV - Lançamento de efluentes industriais

V - Lançamento de efluentes hospitalares

VI - Ausência de sistema de saneamento básico

VII - Ocupação imobiliária

VIII - Ausência de aterro sanitário

<b>PRIORIDADES</b>	<b>ENCOSTA</b>	<b>Z.U.CRATO</b>	<b>Z.U.JUAZEIRO</b>	<b>Z.R.JUAZEIRO</b>	<b>Z.R. M. VELHA</b>
1°					
2°					
3°					
4°					
5°					
6°					
7°					
8°					

03) Quais as medidas que atenderiam a deficiência do esgotamento sanitário? (Escala de prioridade)

- Campanhas educativas
- Implantação do sistema de saneamento básico
- Incentivo fiscal para adesão das residências ao sistema de saneamento básico
- Definição de parcela do orçamento municipal a ser aplicado em saneamento básico

04) Qual a medida capaz de compatibilizar o desenvolvimento da região com a sustentabilidade ambiental? (Única alternativa)

- Estabelecimento do padrão de emissão de poluentes
- Inativação de atividades poluidoras
- Incentivo fiscal para instalação de atividades poluidoras

05) Qual a medida essencial para controle dos lançamentos de efluentes hospitalares nos corpos d'água? (Única resposta)

- Estabelecimento de multas elevadas para os poluidores
- Exigência de aplicação privada de recursos para sanar os problemas existentes
- Cumprimento do Termo de Ajustamento de Conduta que garante o perfeito tratamento dos efluentes hospitalares e dos resíduos gerados.

06) Quem mais polui a água é:

- Classe alta (Acima de R\$ 3.750,00)
- Classe média (De R\$ 1.140,00 à R\$ 3.750,00)
- Classe baixa (Menor que R\$ 1.140,00)

Fonte: Instituto Classes – 2005 - [www.agenciabrasil.gov.br](http://www.agenciabrasil.gov.br)

07) O que é necessário para resolver o problema da poluição da água? (Escala de prioridade)

- Dinheiro
- Consciência
- Técnicos capacitados
- Aplicação da legislação em vigor
- Políticas públicas com compromisso social

08) Tendo em vista que o abastecimento dos municípios de Crato, Juazeiro, Barbalha e Missão Velha é feito essencialmente pela exploração da água subterrânea de poços e fontes, como deve ser concebida a água superficial? (Única alternativa)

- Um recurso meramente de transporte dos lançamentos de poluentes, sem nenhum risco a saúde.
- Fração importante da água dos Municípios que contribuem para a poluição dos aquíferos pela existência de conexão hidráulica das águas superficiais com as subterrâneas.
- Possível alternativa futura para abastecimento das comunidades.
- Explorada basicamente para atividade agrícola e de recreação.

09) Indique as áreas que precisam de amparo jurídico para garantia da preservação ambiental e bem estar das comunidades do seu entorno. (Escala de prioridade)

- Floresta Nacional do Araripe – FLONA
- Área de Preservação Ambiental – APA
- Sítio Fundão
- Parques ecológicos municipais
- Cachoeira de Missão Velha
- Áreas marginais aos corpos d'água superficiais
- Áreas ao redor das nascentes
- Contribuição dos rios e riachos para o Salgado

10) Em escala de prioridade quais as alternativas sustentáveis para expansão imobiliária na encosta da Chapada do Araripe?

- Impedir qualquer obra de construção civil dentro das APPs as margens dos corpos d'água
- Conforme o Art. 206, inciso XIII da lei Orgânica do Município de Crato que prevê o tombamento e desapropriação para garantir o efetivo fluxo e suporte natural dos corpos d'água neste Município.

11) Indique as ações mais urgentes a serem implementadas na Bacia em estudo. (Escala de prioridade)

- Aterro consorciado
- Aterros Municipais
- Construção da Estação de tratamento de esgoto
- Subsídio financeiro para ligações das residências aos sistemas de esgoto
- Construção dos Sistemas de esgotamento sanitário municipais
- Monitoramento permanente da qualidade e quantidade da água superficial e subterrânea
- Capacitação, Especialização, Mestrado e Doutorado em recursos hídricos e saneamento ambiental.

12) Considerando o atual cenário da qualidade de água na bacia. Qual a Classe das águas doces seria a desejada para efetivar o instrumento de gestão das águas “Enquadramento, na Micro-bacia III da Sub-bacia do Salgado”? (Alternativa única)

- Classe I
- Classe II
- Classe III
- Classe IV

13) Considerando a irregularidade pluviométrica, a sazonalidade e a intermitência dos corpos d'água da Bacia em estudo defini-se: **Tolerância** – “**A capacidade de suportar a elevação do padrão de qualidade de Classe enquadrada para a Classe imediatamente posterior, durante um determinado período, para compensar a deficiência hídrica e garantir a harmonia entre o desenvolvimento e o meio ambiente**”.

Desta forma para compatibilizar o cumprimento da legislação, a qualidade da água e o desenvolvimento econômico e social, você é favorável a Tolerância?

- Sim
- Não

Qual a duração da Tolerância?

- 0% do ano
- Um mês por ano ou aproximadamente 10%;
- Dois meses por ano ou aproximadamente 20%;
- Três meses por ano ou aproximadamente 30%;