

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO E MODELAGEM DA QUALIDADE
DA ÁGUA DA BACIA DO RIO COXIPÓ, NO
MUNICÍPIO DE CUIABÁ - MT**

ALEXANDRA NATALINA DE OLIVEIRA SILVINO

Orientador: Prof. Dr. ALEXANDRE SILVEIRA

Cuiabá, MT, Julho de 2008

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO E MODELAGEM DA QUALIDADE
DA ÁGUA DA BACIA DO RIO COXIPÓ, NO
MUNICÍPIO DE CUIABÁ - MT**

ALEXANDRA NATALINA DE OLIVEIRA SILVINO

*Dissertação apresentada ao programa
de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente
da Universidade Federal de Mato Grosso,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Física e Meio Ambiente.*

Orientador: Prof. Dr. ALEXANDRE SILVEIRA

Cuiabá, MT, Julho de 2008

Silvino, Alexandra Natalina de Oliveira.

S587a **Avaliação e modelagem da qualidade da água da bacia do Rio Coxipó, no município de Cuiabá-MT...**..Alexandra Natalina de Oliveira Silvino. Cuiabá, MT 2008 / Instituto de Física
xxvii, 145 f. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso. Instituto de Física. Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental 2008.

Orientador: Alexandre Silveira.

Bibliografia: p. 134-144.

1. Análise de qualidade da água. 2. Modelagem de qualidade da água. 3. Índice de qualidade da água. 4. Qual2K. 5. Poluição da água. 6. Recursos hídricos. 7. Rio Coxipó. I. Título.

CDU 543.3(817.2)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: AVALIAÇÃO E MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA
DO RIO COXIPÓ NO MUNICÍPIO DE CUIABÁ - MT**

AUTORA: ALEXANDRA NATALINA DE OLIVEIRA SILVINO

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 14 de julho de 2008, pela comissão julgadora:



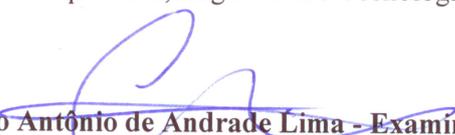
Prof. Dr. Alexandre Silveira - Orientador
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia/UFMT



Profa. Dra. Eliana Beatriz Nunes Rondon Lima - Examinadora Interna
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia/UFMT



Prof. Dr. Luciana Sanches - Examinadora Interna
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia/UFMT



Prof. Dr. Cláudio Antônio de Andrade Lima - Examinador Externo
Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL

A minha Família!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força recebida durante o desenvolvimento desse trabalho, assim como a minha família que compreendeu minha ausência, em especial Aparecida de Oliveira Silvino minha mãe, Adilto José Silvino meu pai, Adélia de Oliveira Silvino, minha irmã e meu noivo Silvano Pereira de Oliveira, assim como meus amigos, em especial, Adriana Queiroz do Nascimento, Aldecy de Almeida Campos, Nely Assunção Silva, Édina Cristina R. F. Alves, entre tantos outros não menos importantes.

Aos bolsistas e técnicos pelo empenho na realização das análises laboratoriais e de campo, e aos colegas de curso que me ajudaram no decorrer do curso.

Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira, pelo empenho na implementação do mestrado e doutorado em Física Ambiental.

Aos professores do Programa de Mestrado em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, pela dedicação no ensino e pesquisa.

Ao professor Dr. Alexandre Silveira pela orientação e bom humor.

Aos professores Msc. José Manoel de Almeida Filho e Dr. Luiz Airton Gomes pelo apoio recebido.

À banca examinadora pela contribuição para a melhoria desse trabalho.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro.

Esta dissertação faz parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física e Meio Ambiente, do Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente e é parte do projeto de pesquisa 500164/2006-1, denominado “*Monitoramento da Quantidade e da Qualidade da Água na Bacia do Rio Coxipó (Cuiabá-MT) e Implementação da Gestão Participativa dos Recursos Hídricos*”, coordenado e executado pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico – CNPq.

RESUMO

SILVINO, A. N. O. *Avaliação e modelagem da qualidade da água da bacia do rio Coxipó, no município de Cuiabá - MT*. Cuiabá, 2008. 145 p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

A bacia do rio Coxipó está inserida na bacia do Paraguai, na sub bacia do alto Cuiabá, importante afluente do pantanal mato-grossense. A bacia está na área de dois municípios, Cuiabá e Chapada dos Guimarães, onde seus recursos hídricos são utilizados para a recreação, uso industrial e abastecimento público, representando o rio mais importante da bacia do rio Cuiabá. Pela importância do manancial para a região, esse trabalho se propôs avaliar a qualidade da água no rio Coxipó, assim como calibrar o modelo Qual2K, de forma a contribuir para a gestão dos recursos hídricos. Observou-se que o grande problema de qualidade de água do rio Coxipó é a elevada concentração de *Escherichia coli* e coliformes totais, imprópria para uso recreacional dentro do perímetro urbano, assim como as concentrações de fósforo. O modelo Qual2K foi calibrado para as variáveis oxigênio dissolvido, DBO e E. Coli, a partir dos quais foi possível simular alguns cenários, onde pode-se concluir que somente com forte intervenção em saneamento é possível elevar a qualidade da água com relação a *E. coli*. Observou-se ainda que o crescimento populacional pode contribuir para a deterioração da qualidade da água caso nenhuma medida seja tomada.

Palavras chave: Qual2K, Simulação, Modelagem.

ABSTRACT

SILVINO, A. N. O. *Avaliation and modeling of water quality of river basin Coxipó, in the Cuiabá city – MT.* Cuiabá, 2008. 145 p. Dissertation (Masters) - Institute of Exact Sciences and Earth, Federal University of Mato Grosso.

The river basin Coxipó is embedded in the basin of Paraguay, in the sub basin of the high Cuiabá, a major tributary of the Pantanal of Mato Grosso. The basin is in the area of two municipalities, Cuiabá and Chapada dos Guimarães, where water resources are used for recreation, industrial use and public supply, representing the largest river basin of the river Cuiaba in the city of Cuiaba. It represents an important source for the region, such work is proposed to evaluate the quality of water in the river Coxipó, and calibrate the model Qual2K in order to contribute to the management of water resources. It was observed that the major problem of quality of water of the river Coxipó and high concentration of fecal and total coliforms, unfit for recreational uses within the urban perimeter as well as the variable phosphorus. The model was calibrated to Qual2K the variables dissolved oxygen, BOD and E. Coli, from which it was possible to simulate some scenarios, which found that only with strong intervention in sanitation you can raise the quality of water in relation to fecal coliforms, as well as population growth can contribute to the deterioration of water quality if no measure is taken.

Key words: Qual2K, simulation, modeling.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XV
LISTA DE TABELAS	XX
LISTA DE QUADROS	XXIV
LISTA DE ABREVIATURAS	XXV
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XXVII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3 REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA	4
3.1.1 Índice de qualidade de água - IQA.....	4
3.2 MODELAGEM COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	7
3.3 MODELAGEM DE QUALIDADE DE ÁGUA.....	7
3.3.1 Fatores que Influenciam no Balanço de OD e DBO.....	8
3.4 TRANSPORTE DE MASSA EM RIOS.....	16
3.4.1 Dispersão Longitudinal	17
3.5 REPRESENTAÇÃO DO ESCOAMENTO.....	18
3.6 BALANÇO DE MASSA EM RIOS	19
3.7 MODELO DE QUALIDADE DE ÁGUA QUAL2K.....	21
3.7.1 Segmentação hidráulica	23
3.7.2 Balanço de fluxo:	24
3.7.3 Características Hidráulicas.....	25
3.7.4 Coeficiente de Descarga.....	25
3.7.5 Equação de Manning.....	26

3.7.6	Equações do modelo QUAL2K	28
3.8	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	30
3.9	CALIBRAÇÃO E VERIFICAÇÃO	31
3.10	AVALIAÇÃO DO AJUSTE DO MODELO	32
3.11	VERIFICAÇÃO DO MODELO (ANÁLISE DOS RESÍDUOS).....	33
3.12	VALIDAÇÃO	34
3.13	ESTUDOS DESENVOLVIDOS NA BACIA DO RIO COXIPÓ.....	34
4	ÁREA DE ESTUDO	37
4.1	LOCALIZAÇÃO	37
4.2	VEGETAÇÃO	38
4.3	SOLOS	38
4.4	USO E OCUPAÇÃO DA BACIA	41
4.5	CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS	42
4.6	ASPECTOS DEMOGRÁFICOS	43
4.6.1	Aspectos demográficos do município de Cuiabá.....	43
4.6.2	Aspectos demográficos dos bairros pertencentes à bacia do rio Coxipó	44
4.7	USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA NA BACIA.....	48
4.7.1	Abastecimento de água	48
4.7.2	Esgotamento sanitário	49
4.7.3	Resíduos Sólidos	52
4.7.4	Praias para Recreação	52
5	METODOLOGIA	53
5.1	DELIMITAÇÃO DA BACIA DO RIO COXIPÓ	54
5.2	ESCOLHA DO MODELO DE QUALIDADE DA ÁGUA	55
5.3	DEFINIÇÃO E DISCRETIZAÇÃO DO TRECHO A SER MODELADO	55
5.4	OBTENÇÃO DOS DADOS HIDRÁULICOS E DE QUALIDADE DA ÁGUA	58

5.4.1	Escolha das estações de monitoramento	58
5.4.2	Características das estações de monitoramento	59
5.4.3	Metodologia para determinação da vazão.....	63
5.5	DADOS DE ENTRADA NO MODELO.....	64
5.6	CALIBRAÇÃO DO MODELO.....	65
5.6.1	Coefficiente de descarga.....	66
5.6.2	Coefficiente de Reaeração - K_2	66
5.6.3	Determinação das contribuições ao longo do percurso no rio Coxipó.....	68
5.7	SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS.....	70
5.7.1	Estimativa populacional	71
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
6.1	ASPECTOS HIDROLÓGICOS.....	72
6.1.1	Dados pluviométricos.....	72
6.1.2	Caracterização hidráulica	74
6.2	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS CÓRREGOS.....	78
6.2.1	Potencial hidrogeniônico (pH)	78
6.2.2	Turbidez	79
6.2.3	Sólidos Totais e Sólidos Totais Suspensos	81
6.2.4	Temperatura	82
6.2.5	Demanda bioquímica (DBO) e química (DQO) de oxigênio.....	83
6.2.6	Oxigênio Dissolvido	84
6.2.7	Nitrogênio Total Kjeldhal, Nitrogênio Amoniacal e Nitrito.....	86
6.2.8	Fósforo Total.....	89
6.2.9	Coliformes Totais e <i>Escherichia coli</i>	91
6.3	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO COXIPÓ.....	93
6.3.1	Potencial Hidrogeniônico (pH)	93
6.3.2	Turbidez	94
6.3.3	Sólidos Totais e Sólidos Totais Suspensos	95

6.3.4	Temperatura	97
6.3.5	Demanda Bioquímica (DBO) e Química de Oxigênio (DQO)	98
6.3.6	Oxigênio Dissolvido	99
6.3.7	Nitrogênio Total Kjeldhal, Nitrogênio Amoniacal e Nitrito	100
6.3.8	Fósforo Total	102
6.3.9	Coliformes Fecais e Escherichia Coli	104
6.4	ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)	106
6.4.1	Influência dos parâmetros no Índice de Qualidade de Água – IQA	107
6.5	MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA	110
6.5.1	Análise de sensibilidade	110
6.5.2	Influência da vazão nos valores simulados pelo Qual2K	111
6.5.3	Calibração do modelo	113
6.5.4	Simulação do OD, DBO e Escherichia Coli para o período de estiagem. .	114
6.5.5	Simulação do OD, DBO e Escherichia Coli para o período chuvoso	117
6.6	SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS	120
6.6.1	Simulação de cenários no período de estiagem	120
6.6.2	Simulação de cenários para o período de estiagem para populações futuras	122
6.6.3	Simulação de cenários para o período chuvoso	124
6.6.4	Simulação de cenários para o período chuvoso para populações futuras ..	126
7	CONCLUSÕES	129
7.1	PRECIPITAÇÃO	129
7.2	QUALIDADE DA ÁGUA NOS CÓRREGOS	129
7.3	QUALIDADE DA ÁGUA NO RIO COXIPÓ	130
7.4	ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA	130
7.5	CALIBRAÇÃO DO MODELO QUAL2K	131
7.6	SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS	131
8	RECOMENDAÇÕES	132

9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
9.1	BIBLIOGRAFIAS CITADAS	134
9.2	BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Balanço de Massa, dentro de um elemento computacional.....	20
Figura 2: Esquema de segmentação do rio com tributários.	23
Figura 3: Balanço de vazão no elemento	24
Figura 4: Canal trapezoidal	27
Figura 5: Localização da bacia do Rio Coxipó.....	37
Figura 6: Distribuição espacial dos solos presentes na bacia do rio Coxipó.	39
Figura 7: Distribuição espacial dos usos do solo na bacia do rio Coxipó.....	42
Figura 8: Distribuição espacial das áreas de preservação na bacia do rio Coxipó.....	42
Figura 9: Representação dos bairros drenados pela bacia do rio Coxipó	47
Figura 10: Localidades atendidas pelo sistema de coleta de esgotos – Ano 2005.....	51
Figura 11: Localidades atendidas pelo sistema de tratamento de esgotos– Ano 2005.....	51
Figura 12: Distribuição dos trechos no rio Coxipó.....	56
Figura 13: Diagrama Unifilar do rio Coxipó.....	56
Figura 14: Perfil longitudinal da altitude no rio Coxipó.....	57
Figura 15: Distribuição espacial das estações de monitoramento.....	58
Figura 16: Localização das estações de monitoramento na bacia do rio Coxipó e o perímetro urbano de Cuiabá.	59
Figura 17: Estação Fluviométrica da Ponte de Ferro – P6.....	62
Figura 18: Estação Fluviométrica da Fazenda Rosada – P4	62
Figura 19: Estação Fluviométrica do Horto Florestal – P1.....	63
Figura 20: Estação Fluviométrica do Córrego do Moinho na estrada do Moinho – P263	
Figura 21 - Estação Fluviométrica do Córrego do Moinho no Bairro Planalto – P3..	63
Figura 22: Área de drenagem da bacia do córrego do Moinho e Castelhana na bacia do rio Coxipó.	69
Figura 23: Precipitação total média de 1989 a 2007, na estação climatológica da UFMT, Cuiabá – MT.	72
Figura 24: Precipitação total média em 2007, na estação climatológica da UFMT, Cuiabá – MT.	72
Figura 25: Histograma da altura pluviométrica mensal em Cuiabá (1912 a 2006). ...	73

Figura 26: Histograma da altura pluviométrica mensal em Santo Antônio de Leverger (1987 a 2006)	73
Figura 27: Histograma da altura pluviométrica mensal (1989 a 2007), para a estação climatológica da UFMT.	74
Figura 28: Variação da vazão no rio Coxipó entre abril de 2007 a abril de 2008, para as estações de monitoramento.	75
Figura 29: Variação da vazão no rio Coxipó nas estações de monitoramento e variação da altura pluviométrica mensal, entre abril de 2007 a abril de 2008.....	75
Figura 30: Variação da vazão no córrego do Moinho (P2 e P3) e da altura pluviométrica mensal, entre abril de 2007 a abril de 2008.	76
Figura 31: Variação da vazão no córrego do Moinho (P2 e P3) e da altura pluviométrica mensal, entre abril de 2007 a abril de 2008.	76
Figura 32: valores de pH em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	79
Figura 33: Concentrações de Turbidez em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	80
Figura 34: Densidade demográfica (hab/ha) na bacia do Córrego do Moinho.....	80
Figura 35: Concentrações de sólidos totais em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	81
Figura 36: Concentrações de sólidos em suspensão totais em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.....	81
Figura 37: Temperatura do ar em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	82
Figura 38: Tempertura da água em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	82
Figura 39: Concentrações de DQO em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	84
Figura 40: Concentrações de DBO em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	84
Figura 41: Concentrações de oxigênio dissolvido em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	85
Figura 42: Imagem do satélite Cibers (09/08/2007) da bacia do Córrego do Moinho.	86

Figura 43: Concentrações de NTK nos pontos P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	88
Figura 44: Concentrações de nitrogênio amoniacal nos pontos P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.....	88
Figura 45: Concentrações de Nitrito em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	89
Figura 46: Concentrações de fósforo em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	91
Figura 47: Concentrações de coliformes Fecais em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	92
Figura 48: Concentrações de Escherichia Coli em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	92
Figura 49: pH em P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.....	93
Figura 50: Turbidez em P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.....	95
Figura 51: Sólidos Totais dos pontos P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	96
Figura 52: Sólidos em Suspensão Totais dos pontos P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	96
Figura 53: Temperatura do ar nos pontos P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	97
Figura 54: Temperatura da água nos pontos P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.	97
Figura 55: DQO em P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.....	99
Figura 56: DBO em P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.....	99
Figura 57: Oxigênio dissolvido nos pontos P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem	100
Figura 58: NTK em P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.....	101

Figura 59: nitrogênio amoniacal em P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem	101
Figura 60: Nitrito em P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.....	102
Figura 61: Fósforo total em P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.....	103
Figura 62: Coliformes Totais em P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem	104
Figura 63: <i>Escherichia coli</i> em P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem	104
Figura 64: IQA para o rio Coxipó nos pontos de monitoramento, entre abril de 2007 a abril de 2008.....	106
Figura 65: IQA para os córregos nos pontos de monitoramento, entre os meses de julho de 2007 a abril de 2008.....	106
Figura 66: IQA médio nos pontos monitorados nos períodos de estiagem e de chuva.	107
Figura 67: Influência dos parâmetros no IQA do rio Coxipó	108
Figura 68: Influência dos parâmetros no IQA nos córregos	109
Figura 69: Variação espacial da vazão observadas e das duas vazões simuladas.....	112
Figura 70: Variação espacial do oxigênio dissolvido para os dois conjuntos de vazões	112
Figura 71: Variação espacial da DBO para os dois conjuntos de vazões	113
Figura 72: Variação espacial da <i>E. coli</i> para os dois conjuntos de vazões	113
Figura 73: Perfil longitudinal do Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) observados e simulados.....	114
Figura 74: Perfil longitudinal de Escherichia Coli observados e simulados.....	114
Figura 75: Perfil longitudinal do Oxigênio Dissolvido (OD) observados e simulados.	116
Figura 76: Perfil longitudinal do coeficiente de reaeração (K_2) obtido pelas equações (Simulação 1) e por aproximações sucessivas (Simulação 2).....	116
Figura 77: Perfil longitudinal do Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) observados e simulados.....	118
Figura 78: Perfil longitudinal de Escherichia Coli (<i>E.Coli</i>) observados e simulados.	118

Figura 79: Perfil longitudinal do Oxigênio Dissolvido (OD) observados e simulados no rio Coxipó	119
Figura 80: Perfil longitudinal do coeficiente de reaeração (K_2) obtido pelas equações (Simulação 1) e por aproximações sucessivas (Simulação 2).....	119
Figura 81: Perfil longitudinal do oxigênio dissolvido (OD) observados e simulados para diversos cenários	121
Figura 82: Perfil longitudinal de DBO observados e simulados para os diversos cenários	121
Figura 83: Perfil longitudinal de Escherichia Coli observados e simulados para os diversos cenários	122
Figura 84: Perfil longitudinal do oxigênio dissolvido (OD) observados e simulados para populações futuras.....	123
Figura 85: Perfil longitudinal de DBO observados e simulados para populações futuras	123
Figura 86: Perfil longitudinal de Escherichia coli observados e simulados para populações futuras.....	124
Figura 87: Perfil longitudinal do oxigênio dissolvido (OD) observados e simulados para diversos cenários	125
Figura 88: Perfil longitudinal de DBO observados e simulados para os diversos cenários	125
Figura 89: Perfil longitudinal de Escherichia coli observados e simulados para os diversos cenários	126
Figura 90: Perfil longitudinal do oxigênio dissolvido (OD) observados e simulados para populações futuras.....	127
Figura 91: Perfil longitudinal de DBO observados e simulados para populações futuras	127
Figura 92: Perfil longitudinal de Escherichia Coli observados e simulados para populações futuras.....	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros e pesos do IQA	5
Tabela 2: Classificação dos valores do Índice de Qualidade das Águas.....	6
Tabela 3: Valores do coeficiente de demanda de oxigênio pelo sedimento (S_d') (20°C), para diferentes tipos de fundo de rio.	11
Tabela 4: Valores do coeficiente de demanda de oxigênio pelo sedimento em $gO_2.m^{-2}.d^{-1}$, para diferentes condições de fluxo e características das águas.	11
Tabela 5: Valores típicos dos coeficientes de remoção de DBO (K_1 , K_s , K_d e K_r).....	12
Tabela 6: Coeficiente de reaeração para corpos hídricos com diversas características	15
Tabela 7: Valores típicos de dispersão longitudinal	18
Tabela 8: Diferenças entre Qual2E e Qual2K.....	22
Tabela 9: Variáveis simuladas pelo modelo Q2K, símbolos e unidades.	22
Tabela 10:Valores típicos para os expoentes do coeficiente de descarga usado para determinar a velocidade do fluxo e a profundidade	26
Tabela 11: Comparação entre as equações do QUAL2E e QUAL2K	29
Tabela 12: Características físicas da bacia do rio Coxipó.	43
Tabela 13: Percentual de área de drenagem dos bairros inseridos na bacia do rio Coxipó	44
Tabela 14: Estações de tratamento de esgotos existentes na bacia do rio Coxipó.....	50
Tabela 15: Localidades atendidas pelo sistema de coleta de esgoto em Cuiabá, segundo o tipo de tratamento – Ano 2005.	50
Tabela 16: Coordenadas UTM dos trechos, distância da foz e características em seu entorno.	57
Tabela 17: Coordenadas UTM das Estações de Monitoramento	58
Tabela 18: Distâncias entre a foz do rio Coxipó e as estações de monitoramento do rio.	60
Tabela 19: Métodos utilizados para a determinação dos parâmetros físico, químicos e bacteriológicas.....	61
Tabela 20: Posição do molinete para leitura de velocidade (m/s) em diferentes profundidades (m).....	64
Tabela 21: Espaçamentos (m) entre as verticais em função da largura (m) do rio.	64

Tabela 22: Coeficientes de descarga nos trechos para o rio Coxipó.....	66
Tabela 23: Equações para determinação de K_2 a 20°C.	67
Tabela 24: Escala de profundidades e velocidades usadas para desenvolver as fórmulas de reaeração para rios.....	68
Tabela 25: Resumo das características, físico, químicas e bacteriológicas dos córregos e da poluição difusa, para os diversos cenários no período de estiagem (maio a setembro de 2007).....	70
Tabela 26: Resumo das características, físico, químicas e bacteriológicas dos córregos e da poluição difusa, para os diversos cenários no período chuvoso (abril de 2007, outubro a dezembro de 2007).....	70
Tabela 27: Estimativa populacional para o município de Cuiabá.....	71
Tabela 28: Características hidráulicas dos pontos de monitoramento, no período de estiagem e chuvoso.	77
Tabela 29: Estatística descritiva de pH nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.....	79
Tabela 30: Estatística descritiva de turbidez (UNT) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.....	80
Tabela 31: Estatística descritiva de sólidos totais (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.....	82
Tabela 32: Estatística descritiva de sólidos em suspensão totais (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.....	82
Tabela 33: Estatística descritiva da temperatura do ar (°C) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.....	83
Tabela 34: Estatística descritiva da temperatura da água (°C) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.....	83
Tabela 35: Estatística descritiva da DQO (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.....	84
Tabela 36: Estatística descritiva da DBO (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.....	84
Tabela 37: Estatística descritiva de oxigênio dissolvido (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.....	86

Tabela 38: Estatística descritiva de NTK (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas	89
Tabela 39: Estatística descritiva de Nitrogênio amoniacal (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas	89
Tabela 40: Estatística descritiva de Nitrito (mg/L) nos pontos de amostragem, no período chuvoso	89
Tabela 41: Estatística descritiva de fósforo (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas	91
Tabela 42: Estatística descritiva de Coliformes Totais (UFC/100mL) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.	92
Tabela 43: Estatística descritiva de <i>Escherichia coli</i> (UFC/100mL) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.	92
Tabela 44: Estatística descritiva de pH nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas	93
Tabela 45: Estatística descritiva de Turbidez (UNT) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.	95
Tabela 46: Estatística descritiva de Sólidos Totais (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas	97
Tabela 47: Estatística descritiva de Sólidos em Suspensão Totais (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.....	97
Tabela 48: Estatística descritiva de temperatura do ar (°C) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas	98
Tabela 49: Estatística descritiva de temperatura da água (°C) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas	98
Tabela 50: Estatística descritiva de DQO (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas	99
Tabela 51: Estatística descritiva de DBO (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas	99
Tabela 52: Estatística descritiva de oxigênio dissolvido (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas	100
Tabela 53: Estatística descritiva de Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK) (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.	102

Tabela 54: Estatística descritiva de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para rio Coxipó, no período de estiagem e de chuvas	102
Tabela 55: Estatística descritiva de Nitrito (mg/L) para rio Coxipó, no período de chuvas	102
Tabela 56: Estatística descritiva das concentrações de Fósforo (mg/L) para rio Coxipó, no período de estiagem e de chuvas	103
Tabela 57: Valores mínimos, máximos e médios de Coliformes Totais, no período de estiagem e de chuvas.....	105
Tabela 58: Valores mínimos, máximos e médios de <i>Escherichia coli</i> , no período de estiagem e de chuvas.....	105
Tabela 59: Análise de sensibilidade para o rio Coxipó no período chuvoso.	110
Tabela 60: Resultados das Simulações no período de estiagem para oxigênio dissolvido e <i>E. coli</i> , no rio Coxipó.....	115
Tabela 61: Coeficientes de remoção global de DBO para simulações no período de estiagem, no rio Coxipó	115
Tabela 62: Resultados das Simulações de Oxigênio Dissolvido (mg/L) no período de estiagem, para dois métodos de obtenção de K_2 , no rio Coxipó.....	117
Tabela 63: Valores de K_2 utilizados nas Simulações, no rio Coxipó.....	117
Tabela 64: Resultados das simulações no período de chuva.....	118
Tabela 65: Coeficientes de remoção global de DBO (K_r) para o período de chuvoso.....	118
Tabela 66: Resultados das Simulações de OD (mg/L) no período chuvoso, para dois métodos de obtenção de K_2	119
Tabela 67: Valores de K_2 utilizados nas Simulações.....	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Funções Polinomiais das Curvas das Variáveis do IQA_{NSF}	5
Quadro 2: Localização dos pontos de recreação na bacia do rio Coxipó.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
USGS	U.S. Geological Survey
ST	Sólidos Totais (mg/L)
S_i	Fontes externas e/ou sumidouros ($g/m_3/d$ ou $mg/m_3/d$).
SANECAP	Companhia de Saneamento da Capital
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente
SEPLAN	Secretaria de Planejamento e Controle Geral
S_0	Inclinação inferior (m/m)
S	Declividade do canal (m/m)
R_h	Raio hidráulico (m)
$Q_{ps,i,j}$	Fonte de vazão pontual de entrada no elemento i (m^3/d)
$Q_{pa,i,j}$	Vazão de saída para o elemento i (m^3/d)
$Q_{out,i}$	Vazão de saída do elemento i por fontes pontuais e difusas (m^3/d)
$Q_{nps,i,j}$	Fonte de vazão difusa de saída no elemento i (m^3/d)
$Q_{npa,i,j}$	Vazões de retirada não pontual no elemento i (m^3/d)
$Q_{in,i}$	Vazão de entrada no elemento i por fontes pontuais e difusas (m^3/d)
Q_{i-1}	Vazão de saída a montante do elemento $i - 1$ (m^3/d)
Q_i	Vazão de saída do elemento i e de entrada a jusante do elemento $i + 1$ (m^3/d)
Q	Vazão (m^3/s)
p_{si}	Número total de fontes pontuais para o elemento i ,
pH	Potencial Hidrogeniônico
p_{ai}	Número total de fontes de retiradas pontuais no elemento i .
P	Fósforo (mg/L)
O_s	Concentração de oxigênio saturado (mg/L);
O	Concentração de oxigênio dissolvido (mg/L);
n_{psi}	Número total de fontes difusa no elemento i .
n_{pai}	Número total de fontes de retiradas não pontuais no elemento i .
NKT	Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)

NI	Não Informada
MMA	Ministério do Meio Ambiente
IQA	Índice da qualidade da água
IPDU	Fundação Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano
INMET	Instituto Meteorológico de Mato Grosso
IBGE	Instituto brasileiro de Geografia e Estatística
GPS	Global Positioning System
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ_2	Taxa de morte algal (1/dia)
ρ	Taxa de respiração algal, (1/dia);
β_3	Taxa específica de desnitrificação, (1/dia);
B_2	Coefficiente de oxidação de nitrito, (1/dia);
β_1	Coefficiente de oxidação de amônia, (1/dia);
α_6	Taxa de consumo de oxigênio por oxidação de nitrito, NO_2^{-2} , (mg O) / (mg N);
α_5	Taxa de consumo de oxigênio por oxidação de nitrogênio amoniacal, NH_3 , (mg O) / (mg N);
α_4	Taxa de consumo de oxigênio por respiração por unidade de algas, (mg O / mg A);
α_3	Produção de oxigênio por crescimento de algas, (mg O) / (mg A);
α_2	Produção de nitrogênio por unidade de alga
α_1	Fração de nitrogênio na alga, (mg-N / mg-A);
y	DBO exercida em um tempo t
W_i	Carga de constituintes externos para o elemento i (g/d ou mg/d);
V	Volume (m^3)
U_s	Velocidade de sedimentação do material particulado (m/d)
U_i^*	Velocidade (m/s)
U_*	Velocidade de cisalhamento
U	Velocidade do rio (m/s);
t	Tempo (dia)
N_2	Concentração de nitrito, (mg N/L).
N_1	Concentração de nitrogênio amoniacal, (mg N/L);
N	Nitrogênio (mg/L)
n	Coefficiente de rugosidade de Manning
L_0	DBO remanescente em $t=0$ (mg/L)
L	Concentração de DBO remanescente em um tempo t qualquer (mg/L)
K_s	Coefficiente de sedimentação (d^{-1})

K_s	Coefficiente de sedimentação de DBO no rio (d^{-1}).
K_r	Coefficiente de remoção global de DBO no rio (d^{-1}).
K_d	Coefficiente de remoção (decomposição) de DBO no rio (d^{-1}).
K_b	Taxa de decaimento bacteriano (d^{-1}).
K_5	Taxa de demanda de oxigênio do sedimento, (g/m^2 dia);
K_4	Fonte de DBO pelos organismos bentônicos (g/m^2 dia);
K_3	Taxa de sedimentação, (1/dia);
K_2	Coefficiente de reaeração, (1/dia);
K_1	Coefficiente de desoxigenação (dia^{-1})
H_d	Profundidade hidráulica (m).
H	Profundidade (m)
G	Aceleração gravitacional (= $9.81 m/s^2$)
F	Numero de Froude (Adimensional).
D	Dispersão longitudinal
B	Largura do rio (m)
A	Biomassa algal, (mg/L);
A	Área (m)
μ	Taxa de crescimento específico de algas, (1/dia);
α	Alfa
β	Beta
S_d	Demanda de oxigênio pelo sedimento ($gO_2m^3.d$)
S_d'	Demanda de oxigênio por unidade de área superficial do sedimento ($gO_2/m^2.d$)
λ_1	Consumo de oxigênio para a respiração de plantas fixas, ($g O_2/m^2$ dia);
λ_2	Produção de oxigênio pela fotossíntese das plantas fixas, (gO_2/m^2 dia);
s_1	Variâncias amostrais
n_1	Tamanho da amostra com maior variância
σ	Variância da população

1 INTRODUÇÃO

O recurso natural água, tem sido objeto de debates internacionais sobre usos, conflitos e gestão das águas há vários anos, fato decorrente da percepção do aumento da escassez do bem para o consumo humano, seja pelo aumento da demanda de água, devido à explosão demográfica e o crescimento econômico, ou pela crescente deterioração da qualidade desse recurso finito, causada pela poluição indiscriminada.

No Estado de Mato Grosso, os impactos produzidos pela rápida evolução do agronegócio, crescimento da população, ampliação das atividades industriais e de prestação de serviços, promoveu uma série de pressões relacionadas aos seus recursos hídricos, requerendo assim ações conjuntas do Estado e da sociedade, no uso sustentável dos recursos hídricos e seu gerenciamento.

Cuiabá, capital do Estado, em onze anos, aumentou sua população em mais de 50%, ocasionando assim, o aumento da demanda pelo uso de água, principalmente para abastecimento público e industrial. A deterioração da qualidade da água do rio Coxipó, corpo d'água que drena a área urbana, também cresceu, pois o mesmo, assim como seus efluentes, são usados para diluição dos efluentes domésticos e industriais.

Por essas razões é importante avaliar a sua qualidade e quantidade frente ao novo processo de gerenciamento de recursos hídricos, que vem sendo implantado no Estado de Mato Grosso, através da Lei Estadual nº. 6.945/97.

Conforme a Lei Federal N. 9.433/97, a Política Nacional dos Recursos Hídricos- PNRH estabelece seis instrumentos para gestão dos recursos hídricos: os planos de recursos hídricos; o enquadramento dos corpos d'água segundo seus usos preponderantes; a outorga dos direitos de usos dos recursos hídricos; a cobrança pelo uso dos recursos hídricos; a compensação a municípios; o sistema de informação sobre recursos hídricos.

Neste trabalho, foi realizada a calibração do modelo Qual2K, para as variáveis oxigênio dissolvido, DBO e *Escherichia coli* para a bacia do rio Coxipó. A partir do modelo calibrado foi possível simular os reflexos de melhorias em saneamento e aumentos populacionais, na qualidade da água. O resultado obtido foi uma ferramenta que pode auxiliar no processo de gerenciamento dos recursos hídricos na bacia do rio Coxipó.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade da água da bacia do rio Coxipó e modelar a qualidade da água, utilizando o modelo Qual2K para produzir uma ferramenta que pode auxiliar no planejamento da gestão dos recursos hídricos da referida bacia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Avaliar a comportamento da qualidade da água entre abril de 2007 e abril de 2008, na bacia do rio Coxipó;
- Avaliar a tendência do comportamento da qualidade da água entre os pontos de monitoramento;
- Determinar a qualidade da água a partir do Índice de Qualidade da Água – IQA;
- Comparar as variáveis de qualidade de água com os padrões estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº. 357/2005 e nº. 274/2000;
- Calibrar o modelo QUAL2K versão 2.07, para DBO₅, Oxigênio Dissolvido e *Escherichia coli*, para um trecho do rio Coxipó;
- Simular no modelo calibrado a repercussão de diversos cenários hipotéticos relacionados às políticas de gestão dos recursos hídricos na bacia do rio Coxipó;

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

3.1.1 Índice de qualidade de água - IQA

A criação dos índices de qualidade de água tiveram como principal função a reunião de diversas variáveis com escalas distintas em um único número, objetivando uma análise simplificada do resultado geral. Esses índices foram criados considerando as variáveis que afetam claramente a vida aquática ou o uso recreacional. A maioria dos índices de qualidade de água são descritos em uma escala de 0 a 100, onde zero representa a pior e 100 a melhor situação de qualidade. Esta classificação permite maior entendimento entre a população leiga e os profissionais que gerenciam os recursos hídricos, referente à condição da água.

Os índices de qualidade da água podem ser utilizados para as tomadas de decisões na fase de planejamento, no entanto não deve ser aplicado como a única ferramenta de gestão, sendo essencial a avaliação da qualidade da água à partir de variáveis físico, químicas e bacteriológicas.

No Brasil, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) de São Paulo utiliza, desde 1975, uma versão do IQA adaptada da versão original do *National Sanitation Foundation - NSF*. Nessa adequação feita pela Cetesb, o parâmetro nitrato foi substituído por nitrogênio total, e o parâmetro fosfato total foi substituído por fósforo total, mantendo-se os mesmos pesos e curvas de qualidade estabelecidos pela NSF (ANA, 2005).

O IQA é determinado pelo produtório ponderado das qualidades da água correspondentes às nove variáveis apresentadas na Tabela 1, e seus respectivos pesos

(w), conforme apresentado pela Equação (1), em que as equações para determinação de q_i são apresentadas no Quadro 1.

Tabela 1: Parâmetros e pesos do IQA

Parâmetro	Pesos	Parâmetro	Pesos
OD	0,17	Nitrogênio Total	0,1
DBO	0,1	Fósforo	0,1
Coliformes Fecais	0,15	Resíduos Totais	0,08
Temperatura	0,1	Turbidez	0,08
pH	0,12		

Fonte: ANA (2005)

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i} \quad (1)$$

Em que:

IQA = grandeza adimensional que corresponde a um número de 0 a 100;

q_i = qualidade do parâmetro i obtido através da curva média específica de cada parâmetro de qualidade (anexo 1)

w_i = o peso entre 0 e 1, peso correspondente a i -ésima variável.

Quadro 1: Funções Polinomiais das Curvas das Variáveis do IQA_{NSF}

Parâmetros (i)	Faixa	Equações matemáticas das Notas
Temperatura Desvio (°C)	$-5 \leq x \leq 5$	$q_i = (0,018278765968x^4) + (-2,692254207E-3x^3) + (-2,2451338509x^2) + (-1,54324016138x) + (91,708915636)$
	$5 < x \leq 15$	$q_i = (-0,018758383633x^3) + (0,81573998630x^2) + (-13,312797976x) + (8,7483548868E1)$
	$x > 15$	$q_i = 5$
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	$0 \leq x \leq 140$	$q_i = ((2,75440888836E-8)x^5) + ((-8,8414255005E-6)x^4) + ((8,0913178038E-4)x^3) + ((-1,5491736518E-2)x^2) + (5,0317668331E-1)x + (2,9860132048x) + (2,9860132048)$
	$x > 140$	$q_i = 50$
DBO ₅ (mg/L)	$0 \leq x \leq 30$	$q_i = (9,6705612340E1) \cdot E^{-1 \cdot 2459330506E-1x} + (3,0123730555)$
	$x > 30$	$q_i = 2$
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	$1 \leq x \leq 10^5$	$q_i = 1,6462871905E2 \cdot ((x - (-4))^{-3,1464642727E-1})$
	$x > 10^5$	$q_i = 2$

Continuação do Quadro 1:

Parâmetros (i)	Faixa	Equações matemáticas das Notas
Nitratos (mg/L)	$0 \leq x \leq 100$	$q_i = 9,0892256998E+1 \cdot (e^{-4,5590646942E-2 \cdot x})$
	$x > 100$	$q_i = 1$
Fosfatos (mg/L)	$0 \leq x \leq 10$	$q_i = 1 / ((9,2315245670E-3) + (1,7176906575E-2)x)$
	$x > 30$	$q_i = 2$
pH	$2 \leq x \leq 7,3$	$q_i = ((-1,471716290E-1)x^5) + (2,7864153968x^4) + ((-1,9241573303E1)x^3) + ((6,3503912668E1)x^2) + (-9,9817319350E1)x + 6,16533829183E1$
	$7,3 \leq x \leq 12$	$q_i = ((4,4753472477E-1)x^5) + ((-2,2906621079E1)x^4) + ((4,6593095888E2)x^3) + ((-4,7000830350E3)x^2) + (2,3454759541E4)x + (-4,6614017892E4)$
Sólidos Totais (mg/L)	$0 \leq x \leq 500$	$q_i = ((3,589743606E-12)x^5) + (-7,1445221476E-9)x^4 + (5,5134032532E-6)x^3 + (-2,0306235379E-3)x^2 + (2,1180011581E-1)x + (7,9977272746E1)$
	$x > 500$	$q_i = 2$
Turbidez (UT)	$0 \leq x \leq 100$	$q_i = ((-2,083333461E-8)x^5) + (7,3936484113E-6)x^4 + (-1,0109994603E-3)x^3 + (6,9750147658E-3)x^2 + (-2,9960693801)x + (9,9977272811E1)$
	$x > 100$	$q_i = 50$

Fonte: Adaptado de Gastaldini et al. (2003).

A variável OD (mgO_2/l) deve ser transformada em % de OD de saturação. Esta transformação se faz com o auxílio de uma tabela, em função da altitude da região, da salinidade e temperatura da amostra.

A qualidade da água bruta é avaliada conforme o valor do IQA (Tabela 2), e para que as águas possam ser potabilizadas, seu IQA deve estar entre bom e ótimo e a análise de toxicidade deve ser igual à zero (ANA, 2005).

Tabela 2: Classificação dos valores do Índice de Qualidade das Águas

Faixa	*Classificação (ANA, 2005)	Faixa	**Classificação (NSF-WQI)	Faixa	**Classificação (CETESB)
91 – 100	Ótima	91 – 100	Excelente qualidade	80 – 100	Ótima
71 – 91	Boa	52 – 79	Boa qualidade	52 – 79	Boa
51 – 70	Aceitável	37 – 51	Média qualidade	37 – 51	Aceitável
26 – 50	Ruim	20 – 36	Má qualidade	20 – 36	Imprópria para tratamento convencional
0 – 25	Péssima	0 – 25	Péssima qualidade	0 – 19	Imprópria

Fonte: *ANA (2005) – Classificação adotada pelo Estado de Mato Grosso; **Gastaldini et al. (2003)

3.2 MODELAGEM COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Gestão de recursos hídricos é a forma pela qual se pretende equacionar e resolver as questões de escassez relativa dos recursos hídricos, bem como fazer o uso adequado, visando à otimização dos recursos em benefício da sociedade, e que se realiza mediante procedimentos integrados de planejamento e de administração (SETTI et al, 2000).

Entre as ações para gestão da qualidade dos recursos hídricos tem-se a caracterização ambiental, a avaliação dos impactos das atividades que estão inseridas ou irão se instalar na área de influência, investigação da capacidade de assimilação de um corpo receptor, o monitoramento ambiental e a retroalimentação do processo de gestão como um todo, de forma a permitir um aperfeiçoamento do sistema adotado (LIMA, 1997).

A modelagem matemática da qualidade da água surge neste contexto como uma ferramenta de extrema importância no processo de gestão de uma bacia, uma vez que esta pode auxiliar na escolha de alternativas de manejo, tendo em vista a resposta do modelo a diferentes descargas de resíduos (RODRIGUES, 2005).

3.3 MODELAGEM DE QUALIDADE DE ÁGUA

Os modelos podem ser considerados como uma representação simplificada da realidade, e se dá pelo estabelecimento de hipóteses sobre a estrutura ou sobre o comportamento de um sistema físico (RODRIGUES, 2005).

Segundo Rosman (2005 apud BÁRBARA, 2006), modelos são “ferramentas integradoras sem as quais dificilmente se consegue uma visão dinâmica dos processos que ocorrem em sistemas naturais”. Eiger (2003), Mujumdar e Vemula (2004) e Rosman (2005) citado pelo mesmo autor, afirmam que dentre todos os modelos existentes, os matemáticos (que fazem uso de equações diferenciais e de condições de contorno para representar, de maneira aproximada, os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem dentro de determinado sistema ambiental), são os mais utilizados na modelagem da qualidade da água.

Cox (2003, apud BÁRBARA, 2006), realizou um estudo comparativo entre vários modelos utilizados para a modelagem da qualidade da água de rios, chegando à conclusão que todos possuem limitações em graus diferentes, e que as mesmas devem ser levadas em conta, caso se pretenda fazer interpretações significativas dos resultados obtidos com as modelagens. Pois os mesmos foram concebidos para situações específicas, permitindo compreender que nenhum é, portanto, completo para todas as funcionalidades requeridas.

A modelagem do processo de autodepuração de um manancial passa pela compreensão e equacionamento de complexos fenômenos, que estão em constante interação com os parâmetros OD e DBO, condição esta, que é explorada por muitos modelos cuja estruturação fundamenta-se na aplicação do princípio do balanço de massa para estes parâmetros (LIMA, 1997).

3.3.1 Fatores que Influenciam no Balanço de OD e DBO

3.3.1.1 Oxidação da Matéria Orgânica

A oxidação da matéria orgânica é um importante fator de consumo de oxigênio, que se deve a respiração dos microorganismos decompositores, principalmente as bactérias heterotróficas aeróbias, onde a equação simplificada da estabilização é:



3.3.1.1.1 Cinética da Desoxigenação

A DBO é uma medida indireta da concentração de matéria orgânica presente em uma amostra de água. Esta medida se dá pela determinação da quantidade de oxigênio consumido para converter a matéria orgânica presente na água para uma forma inorgânica em um período de tempo determinado, geralmente 5 dias, a 20°C.

Assim a DBO pode representar tanto a matéria orgânica quanto o consumo de oxigênio dissolvido, podendo ser entendido por estes dois ângulos distintos, onde a

DBO remanescente representa a concentração de matéria orgânica remanescente na massa líquida em um dado instante, enquanto a **DBO exercida** representa o oxigênio consumido para estabilizar a matéria orgânica até este instante.

A cinética da reação da matéria orgânica remanescente (DBO remanescente) se processa segundo uma reação de primeira ordem em que a taxa de mudança na concentração é proporcional a primeira potência da concentração (Equação 3) (VON SPERLING, 1996).

A taxa de oxidação da matéria orgânica dL/dt é proporcional à matéria orgânica ainda remanescente (L), em um tempo Δt qualquer. Conseqüentemente, quanto maior a concentração de DBO, mais rapidamente se processará a desoxigenação, para um mesmo Δt . Assim após certo tempo, quando a DBO estiver reduzida pela estabilização, a taxa de degradação será menor, em virtude da menor concentração da matéria orgânica (VON SPERLING, 1996).

A integração da Equação 3 entre os limites $L=L_0$ e $L=L_t$, e $t=0$ e $t=t$, conduz a Equação 4.

$$\frac{dL}{dt} = K_1 \cdot L \quad (3)$$

$$L = L_0 \cdot e^{-K_1 \cdot t} \quad (4)$$

Em que:

L = concentração de DBO remanescente em um tempo t qualquer (mg/L)

t = tempo (dia)

K_1 = coeficiente de desoxigenação (dia^{-1})

L_0 = DBO remanescente em $t=0$ (mg/L)

Em termos de consumo de oxigênio, a quantificação da DBO exercida é obtida através da Equação 5:

$$y = L_0 \cdot (1 - e^{-K_1 \cdot t}) \quad (5)$$

Em que:

y = DBO exercida em um tempo t

L_0 = DBO remanescente, em $t = 0$ ou DBO exercida (em $t=\infty$). Também denominada demanda última, pelo fato de representar a DBO total ao final da estabilização.

3.3.1.1.2 Coeficiente de Desoxigenação – K_1 (d^{-1})

O coeficiente K_1 depende das características da matéria orgânica, da temperatura e da presença de substâncias inibidoras.

De acordo com von Sperling (1996), existem vários processos matemáticos e estatísticos que podem ser utilizados para a determinação do coeficiente de desoxigenação. Os dados de entrada para tais métodos são os valores da DBO de vários dias, tipicamente dias 1, 2, 3, 4 e 5 ou 1, 3, 5, 7 e 9. Para a determinação de K_1 , deve ser feito um ajuste da Equação 4 aos pontos experimentais, podendo utilizar os métodos dos mínimos quadrados, de Reed-Theriaut (apud BARNWELL, 1980); método da inclinação, de Thomas (1937); método dos momentos, de Moore, Thomas e Snow (1950); método de Thomas (apud Povinelli, 1973; Metcalf e Eddy, 1981); método das diferenças de logaritmos, de Fair (1936).

Muitas vezes ao se determinar o K_1 em laboratório e ao compará-lo como o valor observado no curso d'água, os valores podem ser diferentes, pois na maioria das situações, as condições ambientais tendem a fazer com que a taxa de remoção seja maior que na garrafa de DBO, no laboratório.

Segundo Bowie et al. (1985 apud Lima 1997), o coeficiente de desoxigenação relacionado à estabilização da matéria orgânica carbonácea nos corpos d'água naturais é tipicamente maior que o K_1 de frasco, e apresenta nova notação para esta distinção, onde $K_d \geq K_1$. Sendo K_d é o coeficiente de desoxigenação global dos cursos d'água naturais decorrente da degradação da DBO Carbonácea.

3.3.1.2 Contribuição bentônica - S_d' ($gO_2/m^2.d$)

As taxas de consumo de oxigênio pelos sistemas bentônicos dependem de vários fatores como concentração de oxigênio sobrenadante, temperatura,

profundidade, decomposição, idade e textura do lodo (VON SPERLING, 2007), espessura da camada, constituição material do lodo, velocidade de escoamento, concentração de OD na massa líquida, temperatura e taxa de deposição ou arraste de material (CAMPOS, 1981 apud LIMA, 1997), o que resulta na maior dificuldade na obtenção de dados seguros a cerca da demanda bentônica.

A taxa degradação do lodo de fundo é bastante lenta, comparada com as taxas usuais da matéria dissolvida ou suspensa, com uma magnitude de 1 a 5% destas, implicando em um tempo para a estabilização de vários anos (FAIR et al, 1941 apud VON SPERLING, 2007), o que pode influenciar nas simplificações dadas aos modelos de qualidade de água.

Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes de demanda de oxigênio pelo sedimento para diferentes tipos de fundo de rio, enquanto a Tabela 4 apresenta os coeficientes de demanda de oxigênio pelo sedimento para diferentes condições de fluxo e características das águas.

Tabela 3: Valores do coeficiente de demanda de oxigênio pelo sedimento (S_d') (20°C), para diferentes tipos de fundo de rio.

Tipo de fundo e localização	Faixa de valores ($gO_2m^{-2}.d^{-1}$)	Valor médio ($gO_2m^{-2}.d^{-1}$)
Lodo oriundo de esgotos municipais, próximo ao emissário.	2 a 10	4
Lodo oriundo de esgotos municipais, a jusante do emissário.	1 a 2	1,5
Lodo estuarino.	1 a 2	1,5
Fundo arenoso.	0,2 a 1,0	0,5
Solos minerais.	0,05 a 0,1	0,07

Fonte: EPA, 1985, Thomann; Mueller, 1985, Chapra, 1997 apud von Sperling, 2007.

Tabela 4: Valores do coeficiente de demanda de oxigênio pelo sedimento em $gO_2m^{-2}.d^{-1}$, para diferentes condições de fluxo e características das águas.

Condição de fluxo	Características das águas		
	Natural	Moderadamente poluída	Fortemente poluída
Remanso	0,50	0,70	1,00
Lento	0,20	0,50	1,00
Rápido	0,00	0,20	0,50
Corredeira	0,00	0,00	0,00

Fonte: Aguirre, 2000 apud Costa Val et al, 2001.

3.3.1.3 Coeficiente de Sedimentação - K_s (d^{-1})

K_s representa a relação entre a velocidade de sedimentação do material orgânico (DBO sedimentável) e a profundidade do rio (CHAPRA, 1997 apud VON SPERLING, 2007):

$$K_s = \frac{U_s}{H} \quad (6)$$

Em que:

K_s = coeficiente de sedimentação (d^{-1})

U_s = velocidade de sedimentação do material particulado (m/d)

H = profundidade do rio (m)

Os valores de K_s são maiores em rios rasos do que em profundos, assim como para esgotos brutos, o valor pode ser elevado e inexpressível em esgotos tratados, em função do tipo de tratamento adotado.

Na Tabela 5 é apresentada uma síntese das faixas de K_1 , K_s , K_d e K_r ($K_s + K_d$), em que são especialmente importantes os valores de K_d e K_r , uma vez que ambos têm efeitos distintos na equação geral do balanço de OD.

Tabela 5: Valores típicos dos coeficientes de remoção de DBO (K_1 , K_s , K_d e K_r)

Origem	K_1	Rios rasos			Rios profundos		
		K_d	K_s	K_r (= K_s+K_d)	K_d	K_s	K_r (= K_s+K_d)
Cursos d'água recebendo esgoto bruto concentrado	0,35-0,45	0,50-1,00	0,10-0,35	0,60-1,35	0,35-0,50	0,05-0,2	0,40-0,70
Cursos d'água recebendo esgoto bruto de baixa concentração	0,30-0,40	0,40-0,80	0,050-0,25	0,45-1,05	0,30-0,45	0,00-0,15	0,30-0,6
Cursos d'água recebendo efluente primário	0,30-0,40	0,40-0,80	0,05-0,10	0,45-0,90	0,30-0,45	0,00-0,05	0,30-0,5
Cursos d'água recebendo efluente secundário	0,12-0,24	0,12-0,24	-	0,12-0,24	0,12-0,24	-	0,12-0,24
Cursos d'água com águas limpas	0,08-0,20	0,08-0,20	-	0,08-0,20	0,08-0,20	-	0,08-0,20

Nota: rios rasos: profundidade inferior a cerca de 1,0 ou 1,5 m; rios profundos: profundidade superior a cerca de 1,0 ou 1,5 m.

Fonte: von Sperling (2007)

Em que:

K_d = coeficiente decomposição de DBO no rio (d^{-1}).

K_s = coeficiente de sedimentação de DBO no rio (d^{-1}).

K_r = coeficiente de remoção global de DBO no rio (d^{-1}).

K_1 = coeficiente de desoxigenação em laboratório (d^{-1}).

3.3.1.4 *Fotossíntese e respiração*

O fenômeno da fotossíntese envolve a presença de seres autotróficos clorofilados, que utilizam o dióxido de carbono na síntese da matéria orgânica em presença de energia luminosa e nutrientes, produzindo matéria orgânica, na forma de algas e oxigênio, conforme apresentado pela equação a seguir.

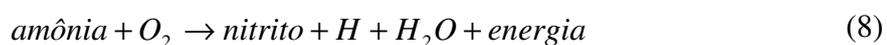


A fotossíntese pode ser representativa em trechos de rios limpos, caso haja suficiência de nutrientes e luminosidade, por serem condições favoráveis ao crescimento algal, trazendo repercussões positivas no balanço de OD, uma vez que libera oxigênio durante os processos fotossintéticos (VON SPERLING, 2007).

Contudo, o fenômeno da fotossíntese é usualmente desprezado na modelagem da qualidade das águas de rios pouco eutrofizados, uma vez que além da parcela relativa a este fenômeno ser pequena, sua eliminação no balanço global do OD, confere um fator de segurança positivo dentro do contexto do controle ambiental, como na avaliação de alocação de fontes poluidoras (LIMA, 1997).

3.3.1.5 *Nitrificação*

O fenômeno de nitrificação é responsável pela transformação do nitrogênio na forma de amônia para nitrito e este em nitrato e são apresentadas simplificadaamente nas Equações 8 e 9.



De acordo com von Sperling (1996) em ambas as reações há consumo de oxigênio e, este consumo é referido como demanda nitrogenada ou demanda de segundo estágio, por ocorrer numa fase posterior às reações de desoxigenação carbonácea. Tal se deve ao fato de que as bactérias nitrificantes têm uma taxa de crescimento mais lenta que as bactérias heterotróficas, implicando em que a nitrificação ocorra também mais lentamente.

3.3.1.6 Reaeração Superficial

A reaeração superficial é um fenômeno de transporte de massa de oxigênio que se manifesta com o contato entre a atmosfera e o corpo d'água, criando um contínuo intercâmbio de moléculas da fase líquida para a gasosa e vice-versa, sendo influenciado por vários fatores, dentre os quais a turbulência, profundidade, temperatura do meio (LIMA, 1997), assim como a umidade atmosférica (SILVEIRA, 2004).

De acordo com Barbosa Junior (1997) a transferência do oxigênio atmosférico para a água constitui-se a principal fonte de reposição do OD em cursos d'água naturais.

De acordo com o mesmo autor, a reaeração é descrita fisicamente pela difusão do oxigênio na água a partir da atmosfera, e é este fenômeno que controla e limita a capacidade de um curso d'água natural para receber e assimilar resíduos orgânicos. Assim o conhecimento da capacidade de reoxigenação natural de curso d'água constitui-se uma exigência básica para o planejamento do controle da poluição e para o gerenciamento da disposição final dos resíduos.

3.3.1.6.1 Determinação do coeficiente de reaeração – K_2

Segundo von Sperling (1996) a seleção do K_2 tem uma maior influência nos resultados do balanço de oxigênio dissolvido do que o coeficiente K_1 , pelo fato das faixas de variação do último serem mais estreitas. Existem vários métodos para obtenção de um valor para o coeficiente K_2 entre eles:

- Valores médios Tabelados

- ❑ Valores calculados em função das características hidráulicas do corpo d'água
- ❑ Valores correlacionados com a vazão do curso d'água
- ❑ Técnica dos traçadores gasosos

Corpos d'água mais rasos e mais velozes tendem a possuir um maior coeficiente de reaeração, devido, respectivamente, à maior facilidade de mistura ao longo da profundidade e à criação de maiores turbulências na superfície.

Alguns pesquisadores, estudando corpos d'água de diversas características, obtiveram valores médios de K_2 , apresentados na Tabela 6, que são usualmente menores do que os obtidos pelos outros métodos (SPERLING, (1996).

Tabela 6: Coeficiente de reaeração para corpos hídricos com diversas características

Corpos d'água	K_2 (dia ⁻¹)	
	Profundo	Raso
Pequenas lagoas	0,12	0,23
Rios vagarosos, grandes lagos	0,23	0,37
Grandes rios com baixa velocidade	0,37	0,46
Grandes rios com velocidade normal	0,46	0,69
Rios rápidos	0,699	1,15
Corredeiras e quedas d'água	>1,15	>1,61

Fonte: Fair et al. (1973), Arceivala (1981) apud von Sperling (2007).

Os valores de K_2 podem ser obtidos a partir de equações empíricas e semi empíricas, que consideram as características hidráulicas do tipo velocidade, profundidade, vazão, declividade etc.

O K_2 pode ser obtido também através da correlação entre vazão do curso d'água e o coeficiente K_2 . Este fato se justifica devido à profundidade e da velocidade estarem intimamente associadas à vazão. Assim, esta, por transitividade, pode estar associada ao K_2 , com a vantagem de se ter uma expressão para quaisquer condições de vazão (por extrapolação e interpolação), principalmente as vazões mínimas, independentemente do conhecimento da profundidade e da velocidade (VON SPERLING, 1996).

Beneti e Rathbun (1972), Barbosa (1989), Barbosa e Giorgetti (1995), citado por Bárbara (2006) relatam que existem várias técnicas experimentais desenvolvidas para a determinação do coeficiente de reaeração, sendo que a mais aceita é a dos

traçadores gasosos. Essa técnica possui a vantagem de quantificar o K_2 independente de outras fontes e sumidouros de OD na água, tais como a fotossíntese, a demanda bentônica e a demanda bioquímica de oxigênio, no entanto, envolve exaustivos trabalhos de campo, de laboratório, equipamentos e profissionais especializados.

Rathbun (1977 apud SANTOS, 2001) fez uma análise do estado-da-arte de técnicas e equações usadas na determinação do coeficiente de reaeração em cursos d'água. Equações de modelos empíricos e semi-empíricos foram selecionados e aplicadas na determinação de K_2 em cinco rios. Após estudos estatísticos, o autor concluiu que os modelos usados possuíam uma série de limitações. Verificaram-se também grandes intervalos nos valores de K_2 , e que não se pode ter uma única equação para todos os rios estudados. Finalmente, conclui que progressos devem ser feitos no desenvolvimento de técnicas e equações para medir e estimar K_2 .

3.4 TRANSPORTE DE MASSA EM RIOS

A variação da concentração de um constituinte num sistema hídrico depende da advecção, difusão e dispersão que ocorre no fluxo, representada na Equação (10) do transporte a seguir, onde os termos a direita tratam da dispersão, advecção, reações e interações, fontes externas, respectivamente:

$$\frac{1}{A} \frac{d}{dt}(AC) = \frac{1}{A} \frac{d}{dx} \left(AD \frac{dC}{dx} \right) - \frac{1}{A} \frac{d}{dx} (AUC) - \frac{dC}{dt} + S_i \quad (10)$$

Em que:

C – concentração de uma determinada substância (mg/L)

A – seção transversal do rio (m²)

U – velocidade (m/s)

D – coeficiente de dispersão longitudinal m²/s)

S_i – fontes externas (mg/L)

$\frac{dC}{dt}$ - taxa ou velocidade de consumo por reação

A **advecção** consiste no movimento das partículas com fluxo unidirecional, em que a substância a ser transportada não perde sua identidade. (CHAPRA, 1997). No caso de rios, advecção move os constituintes de montante para jusante, com o resultado do movimento do próprio líquido. Nos rios a advecção é um dos principais mecanismos de transporte de constituintes (CHAPRA, 1997 apud VON SPERLING, 2007).

A **difusão** refere-se ao movimento da massa devido ao movimento aleatório do líquido ou à mistura. Este transporte causa o espalhamento do constituinte ao longo do tempo, com um desprezível movimento do seu centro de massa. Numa escala microscópica, a **difusão molecular** resulta do movimento aleatório browniano das moléculas de água. Numa escala maior, um movimento aleatório também ocorre causado pela **difusão turbulenta**. Ambas têm a tendência de minimizar diferenças de concentração pelo fato de moverem a massa de regiões de alta concentração para regiões de baixa concentração (CHAPRA, 1997 apud VON SPERLING, 2007).

Os termos difusão e dispersão são várias vezes usadas sem distinção. Geralmente, o transporte associado com a ação molecular e turbulenta tem sido referido como *difusão*, e o transporte associado com as variações de velocidade através da seção de fluxo como *dispersão* (ARCEIVALA, 1981 apud VON SPERLING, 2007). A difusão é devida ao movimento aleatório do constituinte na água no tempo, ao passo que a **dispersão** é devido ao movimento diferencial da água no espaço (por exemplo, diferenças de velocidade entre centro e margens de um rio) (CHAPRA, 1997 apud VON SPERLING, 2007).

A nomenclatura do coeficiente de difusão pode variar, dependendo se ele representa a difusão molecular ou a difusão turbulenta. Assim para cursos d'água, **D** é também referido como **coeficiente de dispersão longitudinal** ou axial (ARCEIVALA, 1981 apud VON SPERLING, 2007).

3.4.1 Dispersão Longitudinal

Em várias situações na modelagem de qualidade de água faz-se necessário que se leve em consideração o fluxo disperso, de forma a permitir uma melhor estimativa do espalhamento dos poluentes lançados nos rios.

A determinação experimental do coeficiente de dispersão em um corpo d'água é feita por meio de estudos com traçadores, que embora mais realísticas, necessitam de tempo e disponibilidade financeira, além de refletirem apenas as condições de dispersão no local e época da medição (VON SPERLING, 2007).

De acordo com von Sperling (2007), existem vários métodos analíticos para determinar do coeficiente de dispersão, mas nem todos são capazes de estimar o coeficiente igualmente bem, já que as condições reais nos cursos d'água podem variar amplamente das assumidas numa dada equação analítica.

Segundo o mesmo autor, uma estratégia interessante pode ser o emprego de algumas poucas medições de campo, e confrontar-se aos resultados de modo a se inferir qual o método analítico se adapta as condições reais do curso d'água. Uma abordagem é a análise de sensibilidade.

De acordo com von Sperling (2007) na maior parte dos rios, o principal mecanismo de transporte é o advectivo e a dispersão longitudinal tem uma influência pequena ou desprezível. No entanto, em situações particulares pode ser justificável a incorporação deste mecanismo de transporte.

Na Tabela 7 são apresentados os valores típicos de coeficientes de dispersão longitudinal.

Tabela 7: Valores típicos de dispersão longitudinal

Corpos d'água	Coefficiente de Dispersão (m ² /h)
Pequenos cursos d'água	10 ¹ a 10 ³
Cursos d'água maiores e rios	10 ³ a 10 ⁵

Fonte: Arceivala (1981 apud VON SPERLING, 2007)

3.5 REPRESENTAÇÃO DO ESCOAMENTO

A simulação da qualidade da água em rios é realizada com base em dois elementos básicos: equações para representar o escoamento e equações do transporte de massa, e os princípios que regem os escoamentos em rios são centrados fundamentalmente nas equações de conservação. A equação da continuidade, traduzindo a conservação da massa, e a equação de Bernoulli, traduzindo a

conservação da energia. Há ainda a equação da quantidade de movimento, de menor aplicação prática no caso da modelagem da qualidade da água.

De acordo com Garcia (2000), a simulação usualmente é realizada para um evento em um período crítico, em que a condição crítica mais comum da qualidade da água ocorre durante a estiagem, quando a vazão é pequena e o regime é próximo de uma condição permanente.

De acordo com von Sperling (2007), no regime permanente não há variação das características de escoamento com o tempo, assim a velocidade e também outras propriedades como massa específica, pressão e etc.

De acordo com Garcia (2006), com relação à trajetória, o escoamento pode ser classificado em uniforme e variado. No escoamento uniforme o vetor velocidade é constante em módulo, direção e sentido em todos os pontos para qualquer instante. O escoamento uniforme são encontrados nos condutos de seção constantes de grandes extensão como adutoras e canais prismáticos cuja altura da lamina d'água é invariável, já o escoamento variado, são encontrados em condutos com vários diâmetros ou canais com declividades variáveis.

3.6 BALANÇO DE MASSA EM RIOS

O balanço de massa é uma descrição quantitativa de todos os materiais que entram, saem e se acumulam em um sistema, e é expresso por uma equação (11) que estima toda a transferência de matéria através dos limites do sistema e todas as transformações que ocorrem dentro do sistema.

$$\text{Acúmulo} = \text{entradas} - \text{saída} + \text{geração} - \text{consumo} + \text{fontes} - \text{sumidouros} \quad (11)$$

Conhecidas as taxas de reação, deve-se avaliar quantitativamente a sua influência dentro do balanço de massa geral do composto em análise. Isto porque a concentração de um determinado composto em um reator é função, não apenas das reações bioquímicas, mas também dos mecanismos de transporte (entrada e saída) do composto (VON SPERLING, 1997).

A expressão básica do balanço de massa deve ser desenvolvida num determinado volume, que pode ser tanto um comprimento do rio, o rio como um todo, ou qualquer volume elementar dos mesmos.

O balanço de massa no Q2K para um constituinte em um elemento é descrito como (Figura 1).

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} c_i + \frac{D_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{D_{i+1}}{V_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i \quad (12)$$

Em que

W_i = carga de constituintes externos para o elemento i (g/d ou mg/d);

S_i = fontes externas e/ou sumidouros de constituintes devido aos mecanismos de transferência de massa e reações (g/m³/d ou mg/m³/d).

A carga externa dada por:

$$W_i = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} C_{ps,i,j} + \sum_{j=1}^{psi} Q_{nps,i,j} C_{nps,i,j} \quad (13)$$

$Q_{ps,i,j}$ = concentração de entrada no elemento i proveniente da fonte pontual j (mg/L ou µg/L);

$Q_{nps,i,j}$ = concentração de entrada no elemento i proveniente da fonte difusa j (mg/L ou µg/L).

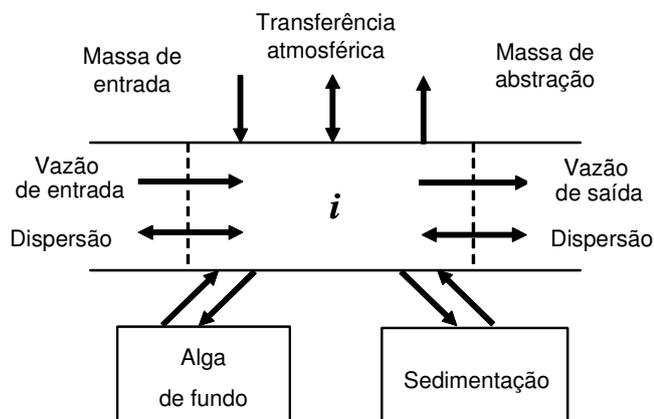


Figura 1: Balanço de Massa, dentro de um elemento computacional

Fonte: Adaptado de Chapra (2006)

3.7 MODELO DE QUALIDADE DE ÁGUA QUAL2K

O Qual2K (ou Q2K) é um modelo de qualidade de água de rios e córregos desenvolvido originalmente por Chapra, S.C., da Universidade de Tufts, que pretendeu representar uma versão modernizada do modelo Qual2E (ou Q2E) (MARRON; BARNWELL, 1987). Onde o Q2K é similar ao Q2E nos seguintes aspectos:

- ❑ Modelo unidimensional: O canal é bem misturado verticalmente e lateralmente.
- ❑ O sistema pode consistir em um rio principal com tributários ramificados.
- ❑ Fluxo constante: O fluxo constante não uniforme é simulado.
- ❑ Balanço diurno de calor: O balanço de calor e a temperatura são simulados em função da meteorologia em condições diurnas.
- ❑ Cinética das reações da qualidade da água diurna: Todas as variáveis da qualidade da água também são simuladas em uma escala de tempo diurna.
- ❑ Entradas dos dados de calor e massa: As cargas pontuais e não pontuais e os pontos de saída são simuladas.

A estrutura de QUAL2K inclui os seguintes elementos novos:

- ❑ O Q2K é executado dentro do ambiente do Microsoft Windows[®]. As computações numéricas são programadas em Fortran 90. O Excel é usado como interface gráfica e todas as operações da relação são programadas na linguagem “Visual Basic”.
- ❑ Segmentação modelo: O Q2E e Q2K segmentam o sistema em trechos do rio e em elementos computacionais. Entretanto, em contraste ao Q2E, o tamanho do elemento para Q2K pode variar de trecho para trecho. Os carregamentos múltiplos e as saídas podem ser inseridos em todo o segmento em qualquer trecho. Segundo Parck e Lee (2002) o fato do Qual2E possuir um número de trechos, elementos computacionais e junções limitadas, não lhe permite fazer simulações para grandes rios com grande precisão. De acordo com o mesmo autor, a maior melhoria que o modelo Q2K possui é a expansão da estrutura computacional e a adição de nova interação de constituintes, tal como DBO algal, desnitrificação e troca de OD causado por plantas fixas. A Tabela 8 apresenta a

resumidamente as diferenças entre os dois modelos, enquanto a Tabela 9 apresenta as variáveis simuladas pelo Q2K.

Tabela 8: Diferenças entre Qual2E e Qual2K

Parâmetro do modelo	Qual2E	Qual2K
Fontes autóctones	Não	Sim
Desnitrificação	Não	Sim
Troca de OD pelas plantas fixas	Não	Sim
Número máximo de junções	6	15
Número máximo de trechos	25	100
Número máximo de elementos	250	1000

Fonte: Parck e Lee (2002)

Tabela 9: Variáveis simuladas pelo modelo Q2K, símbolos e unidades.

Variáveis	Símbolo	Unidade
Condutividade	s	Mmhos
Sólidos Suspensos Inorgânicos	mi	mgD/L
Oxigênio Dissolvido	o	mgO ₂ /L
DBOC reação lenta	cs	mgO ₂ /L
DBOC reação rápida	sf	mgO ₂ /L
Nitrogênio Orgânico	no	µgN/L
Nitrogênio Amoniacal	na	µgN/L
Nitrato	nn	µgN/L
Fósforo Orgânico	po	µgP/L
Fósforo Inorgânico	pi	µgP/L
Fitoplancton	ap	µgA/L
Detritus	mo	mgD/L
Patógeno	x	Cfu/100mL
Alcalinidade	Alk	mgCaCO ₃ /L
Carbono Inorgânico Total	CT	mole/L
Biomassa de Algas de Fundo	ab	mgA/m ²
Nitrogênio de Algas de Fundo	Inb	mgN/m ²
Fósforo de Algas de Fundo	Ipb	mgP/m ²

- ❑ O Q2K usa duas formas de DBO carbonácea para representar o carbono orgânico. Essas formas são a de oxidação lenta (DBO lenta) e a de oxidação rápida (DBO rápida).
- ❑ O Q2K engloba situações anóxicas reduzindo as reações de oxidação zero em níveis baixos do oxigênio. Além disso, a desnitrificação é modelada como uma reação de primeira ordem que ocorre em concentrações de oxigênio baixa.
- ❑ Interações sedimento água: Os fluxos de sedimento – água são simulados em função do oxigênio dissolvido e de nutrientes sem que seja necessária prescreve-

las anteriormente. Isto é, o oxigênio e os fluxos nutrientes são simulados em função da matéria orgânica particulada, das reações dentro dos sedimentos, e as concentrações de formas solúveis nas águas sobrejacentes.

- ❑ Algas inferiores: O modelo simula explicitamente algas inferiores unidas, possuindo estequiometria variável.
- ❑ Redução da luz: A redução da luz é calculada em função do fitoplâncton, dos detritos, e dos sólidos inorgânicos.
- ❑ Patógeno: Um patógeno genérico é simulado, e sua remoção é determinada em função da temperatura, da luz, e da sedimentação.
- ❑ Parâmetros cinéticos específicos dos trechos. O Q2K permitem que se especifiquem muitos do parâmetro cinético de um trecho específico.

3.7.1 Segmentação hidráulica

O modelo Qual2K representa o rio em uma série de trechos, com características hidráulicas constantes, como representa a Figura 2, onde a extensão é numerada em ordem ascendente começando da nascente até o rio principal.

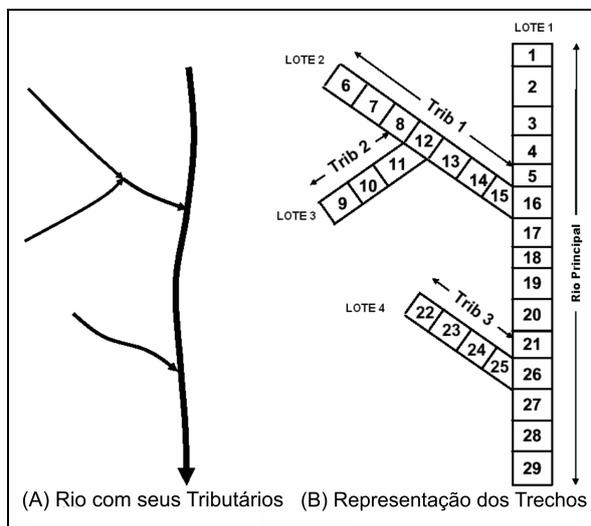


Figura 2: Esquema de segmentação do rio com tributários.

O trecho representado em (b) ilustra os trechos, cabeceira e tributários esquematicamente numerados. Fonte: Adaptado de Chapra (2006)

Cada trecho pode ser dividido em séries de elementos igualmente espaçados, em que os dados hidráulicos, os coeficientes de reação dos constituintes, as

condições iniciais e as vazões incrementais são constantes para todos os elementos computacionais dentro de um trecho.

Em resumo, a nomenclatura usada para descrever a organização topológica do rio é a seguinte: **Trecho** é o comprimento do rio com características hidráulicas constantes; **Elementos**: é um modelo computacional unitário com comprimentos de igual tamanho subdividindo um trecho; Segmento é um conjunto de trechos representando um ramo do sistema.

3.7.2 Balanço de fluxo:

O estado constante da vazão é implementado para cada elemento computacional do modelo (Figura 3), em que as fontes difusas são modeladas como fontes lineares, conforme equação a seguir:

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i} \quad (14)$$

Em que

Q_i = vazão de saída do elemento i e de entrada a jusante do elemento $i + 1$ (m^3/d)

Q_{i-1} = vazão de saída a montante do elemento $i - 1$ (m^3/d)

$Q_{in,i}$ = vazão de entrada no elemento i por fontes pontuais e difusas (m^3/d).

$Q_{out,i}$ = vazão de saída do elemento i por fontes pontuais e difusas (m^3/d)

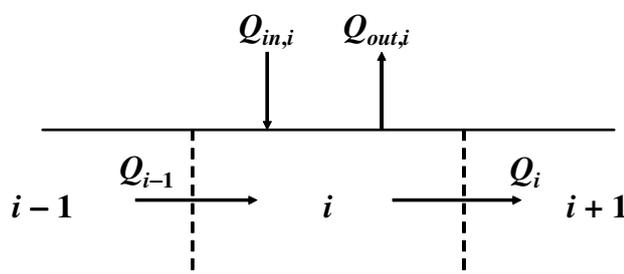


Figura 3: Balanço de vazão no elemento

Fonte: Chapra (2006)

3.7.3 Características Hidráulicas

O modelo Q2K assume que o regime hidráulico do rio ou canal é permanente, ou seja, $\partial Q / \partial t = 0$. Desta forma o balanço hidrológico de um elemento computacional pode ser descrito como $\left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right) = (Qx)i$, onde $(Qx)i$ é a soma das entradas ou retiradas externas para este elemento, conforme já fora discutido no item anterior.

Uma vez que a vazão para cada elemento é computada, a profundidade e a velocidade são calculadas por três caminhos: vertedouro, coeficiente de descarga e a equação de Manning. O programa decide entre estas opções da seguinte maneira:

- Se a profundidade e a largura do vertedouro forem incorporadas, a opção vertedouro é executada.
- Se a profundidade e a largura do vertedouro for zero e o coeficiente de descarga forem incorporados (a e α), a opção coeficiente de descarga é então executada.
- Se nenhuma das circunstâncias precedentes for encontrada, o Q2K usa a equação de Manning.

Considerando que na área de estudo em questão não existem barragens, a presente revisão se limitará a explorar os métodos de determinação de velocidade, profundidade e fluxo através do coeficiente de descarga e da equação de Manning.

3.7.4 Coeficiente de Descarga

As equações (15) e (16) podem ser usadas para descrever a velocidade média do fluxo e profundidade, respectivamente.

$$U = aQ^b \quad (15)$$

$$H = \alpha Q^\beta \quad (16)$$

Em que a , b , α e β são coeficientes empíricos (dados de entrada), obtidos por métodos de ajustes com os dados de campo correspondentes a cada trecho do seguimento fluvial.

Os valores b e β típicos são listados na Tabela 10, em que a soma de b e β deve ser menor que 1, pois se este não for o caso, a largura diminuirá com fluxo crescente. Se sua soma igualar a 1, o canal é retangular.

Tabela 10: Valores típicos para os expoentes do coeficiente de descarga usado para determinar a velocidade do fluxo e a profundidade

Equação	Expoente	Valor Típico	Faixa de variação
$U = aQ^b$	B	0,43	0,4 – 0,6
$H = \alpha Q^\beta$	B	0,45	0,3 – 0,5

Fonte: Barnwell et al. (1989 apud CHAPRA, 2007)

Em algumas aplicações, pode-se querer especificar os valores constantes da profundidade e da velocidade que não variam com fluxo. Isto pode ser feito ajustando os expoentes b e β a zero e ajustando a igual para encontrar a velocidade e α iguais para encontrar a profundidade.

3.7.5 Equação de Manning

No modelo Q2K, cada elemento é idealizado como um canal trapezoidal (Figura 4), e sob circunstâncias do fluxo constante, a equação pode ser usada para expressar o relacionamento entre o fluxo e a profundidade como:

$$Q = \frac{S_0^{1/2} A_c^{5/3}}{n P^{2/3}} \quad (17)$$

Em que:

Q = vazão (m³/s)

S_0 = inclinação longitudinal (m/m)

n = o coeficiente de rugosidade de Manning

A_c = a área de seção transversal (m²)

P = o perímetro molhado (m)

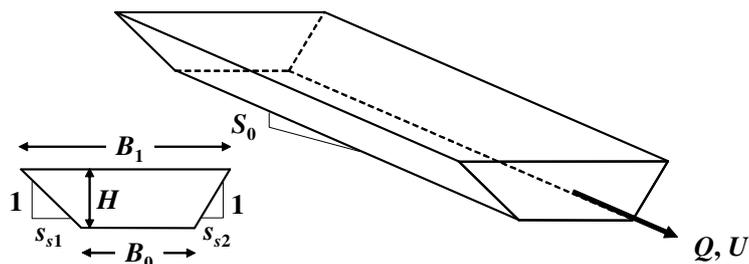


Figura 4: Canal trapezoidal

Fonte: Chapra (2006)

A área da seção transversal é dada por:

$$A_c = [B_0 + 0.5(s_{s1} + s_{s2})H]H \quad (18)$$

Em que:

B_0 = largura do fundo (m)

s_{s1} and s_{s2} = as duas inclinações apresentadas na Figura 4 (m/m)

H = profundidade (m)

O perímetro molhado é dado por:

$$P = B_0 + H\sqrt{s_{s1}^2 + 1} + H\sqrt{s_{s2}^2 + 1} \quad (19)$$

Substituindo as Equações (18) e (19), a Equação (17) pode ser resolvida iterativamente para a profundidade (CHAPRA e CANALE, 2002 apud CHAPRA, 2006),

$$H_k = \frac{(Qn)^{3/5} \left(B_0 + H_{k-1} \sqrt{s_{s1}^2 + 1} + H_{k-1} \sqrt{s_{s2}^2 + 1} \right)^{2/5}}{S^{3/10} [B_0 + 0.5(s_{s1} + s_{s2})H_{k-1}]} \quad (20)$$

Onde:

$k = 1, 2, \dots, n,$

n = número de interações no início determina-se que $H_0 = 0$.

O método termina quando a estimativa do erro fica abaixo do valor especificado, 0.001%, e a estimativa do erro é calculada por:

$$\varepsilon_a = \left| \frac{H_{k+1} - H_k}{H_{k+1}} \right| \times 100\% \quad (21)$$

A área da seção transversal pode ser determinada com a Equação (18), a velocidade pode ser determinada pela equação da continuidade (Equação 22), o comprimento médio do elemento (Equação 23), largura máxima B_1 (Equação 24), área superficial do elemento (Equação 25):

$$U = \frac{Q}{A_c} \quad (22)$$

$$B = \frac{A_c}{H} \quad (23)$$

$$B_1 = B_0 + (s_{s1} + s_{s2})H \quad (24)$$

$$A_s = B_1 \Delta x \quad (25)$$

$$V = BH \Delta x \quad (26)$$

Como a profundidade diminui com a vazão, a rugosidade relativa aumenta. Valores do coeficiente de Manning publicados, variando de 0,015 para canais lisos a 0,15 para canais naturais, representam condições quando a vazão é máxima (ROSGEN, 1996 apud CHAPRA, 2006).

3.7.6 Equações do modelo QUAL2K

De acordo com Park e Lee (2002) muitas equações do modelo incluídas no QUAL2K são as mesmas do QUAL2E, exceto para OD, DBO e nitrato. As equações modificadas de OD e DBO no Qual2K são comparadas com as do QUAL2E na Tabela 11. Como é apresentado na Tabela 11, o consumo de OD pelas algas no QUAL2E foi separado em dois componentes no QUAL2K, que são respiração e morte das algas. A morte Algal foi convertida em DBO e apresentado no QUAL2K pela expressão de $\alpha_4 \rho_2 A$, similar à respiração algal α_4 . α_4 é o oxigênio consumido por a unidade da respiração/morte algal (mg-O₂/ magnésio-A), ρ_2 é a taxa de morte algal (dia⁻¹), e A é a biomassa algal (mg/L).

Tabela 11: Comparação entre as equações do QUAL2E e QUAL2K

OD	Q2E	$\frac{dO}{dt} = K_2(O_s - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\rho)A - K_1L - \frac{K_5}{D} - \alpha_5\beta_1N_1 - \alpha_6\beta_2N_2$
	Q2K	$\frac{dO}{dt} = K_2(O_s - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\rho)A - K_1L - \frac{K_5}{D} - \alpha_5\beta_1N_1 - \alpha_6\beta_2N_2 + \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{D}$
DBO	Q2E	$\frac{dL}{dt} = -K_1L - K_3L$
	Q2K	$\frac{dL}{dt} = -K_1L - K_3L + \frac{K_4}{D} + \alpha_4\rho_2A$

Em que:

O_s = concentração de saturação de oxigênio dissolvido em condições locais de temperatura e pressão, (mg/L);

O = concentração de oxigênio dissolvido, (mg/L);

L = demanda bioquímica de oxigênio;

N_2 = concentração de nitrito, (mg N/L).

N_1 = concentração de nitrogênio amoniacal, (mg N/L);

A = biomassa algal, (mg/L);

D = profundidade média da água (m);

K_1 = taxa de desoxigenação carbonácea, (1/dia);

K_2 = coeficiente de reaeração, (1/dia);

K_3 = taxa de sedimentação, (1/dia);

K_4 = fonte de DBO pelos organismos bentônicos (g/m² dia);

K_5 = taxa de demanda de oxigênio do sedimento, (g/m² dia);

μ = taxa de crescimento específico de algas, (1/dia);

ρ = taxa de respiração algal, (1/dia);

ρ_2 = taxa de morte algal (1/dia)

β_1 = coeficiente de oxidação de amônia, (1/dia);

β_2 = coeficiente de oxidação de nitrito, (1/dia);

β_3 = taxa específica de desnitrificação, (1/dia);

α_1 = fração de nitrogênio na alga, (mg-N / mg-A);

α_2 = produção de nitrogênio por unidade de alga

α_3 = produção de oxigênio por crescimento de algas, (mg O) / (mg A);

α_4 = taxa de consumo de oxigênio por respiração por unidade de algas, (mg O / mg A);

α_5 = taxa de consumo de oxigênio por oxidação de nitrogênio amoniacal, NH_3 , (mg O) / (mg N);

α_6 = taxa de consumo de oxigênio por oxidação de nitrito, NO_2^{-2} , (mg O) / (mg N);

λ_1 = consumo de oxigênio para a respiração de plantas fixas, ($\text{g O}_2/\text{m}^2$ dia);

λ_2 = produção de oxigênio pela fotossíntese das plantas fixas, (gO_2/m^2 dia);

A modelagem de Coliformes é função da taxa de mortalidade bacteriana que é geralmente estimada pela lei de Chick, segundo o qual a taxa de remoção é diretamente proporcional à concentração de bactérias, caracterizada por uma equação de primeira ordem (Equação (27)) que integrada conduz a fórmula para o cálculo da concentração de Coliformes em rios (reatores de fluxo em pistão) após um tempo t , conforme apresentado na Equação (28) (VON SPERLING, 2007).

$$\frac{dN}{dt} = -K_b \cdot N \quad (27)$$

$$N = N_0 \cdot e^{-K_b \cdot t} \quad (28)$$

Em que:

N = número de Coliforme (NMP/100mL) em um tempo t (d)

N_0 = contagem de Coliformes no ponto inicial ($t = 0$) (NMP/100mL)

K_b = coeficiente de decaimento bacteriano (d^{-1})

Valores de K_b obtidos em diversos estudos em águas doces variam numa ampla faixa. Valores típicos, no entanto, situam entre $0,5$ a $1,5 \text{ d}^{-1}$ (base e 20°C valor típico $\approx 1,0 \text{ d}^{-1}$) (ARCEIVALA, 1981; EPA, 1985; THOMANN E MUELLER, 1997 APUD VON SPERLING, 2007). Contudo Brown e Barnwell, (1987) apresentaram taxas de decaimento bacteriano variando de $0,05$ a 4 d^{-1} .

3.8 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Na análise de sensibilidade o usuário identifica, tomando por base os parâmetros de saída do modelo, as variáveis de entrada a serem perturbadas, especificando a magnitude da variação em cada uma delas (BÁRBARA, 2006).

Há diferentes técnicas para a análise de sensibilidade em que se destaca a análise informal, a análise de erros de 1ª ordem e por simulação Monte Carlo.

A análise informal é uma forma bastante simples de se efetuar a análise de sensibilidade de um determinado dado, é rodar o modelo com diferentes valores deste dado (tal como especificado pelo analista), e interpretar se os resultados do modelo são sensíveis a essa variação. O estabelecimento dos distintos valores dos dados de entrada, bem como a interpretação acerca da sensibilidade do modelo, dependerá do conhecimento, experiência e bom senso do analista (VON SPERLING, 2007).

A análise de erros de primeira ordem trabalha com coeficiente normalizados de sensibilidade, os quais representam à porcentagem de variação na variável de saída resultante de uma variação de x % (por exemplo, 1 %) em cada variável de entrada. São calculadas então, para cada variável de saída, as porcentagens da variância atribuídas para cada variável de entrada (VON SPERLING, 2007).

A Análise de Sensibilidade Regionalizada, utilizando a simulação Monte Carlo, foi primeiramente aplicada ao estudo de sistemas ambientais por Spear e Hornberger (1980 apud VON SPERLING, 2007), com o objetivo de investigar os parâmetros de um modelo de simulação de eutrofização.

Inicialmente, separa – se o conjunto de dados em duas amostras distintas, de acordo com algum critério especificado. Por exemplo, se o dado de saída estiver dentro de uma faixa de valores *esperados* (LUMBERS, 1987; VAN STRATEN e KEESMAN, 1991 apud VON SPERLING, 2007) ou de valores *observados* (VON SPERLING, 1990, 1993^a apud VON SPERLING, 2007), todo o conjunto dos dados de entrada e de saída é separado em uma amostra que coleciona os valores “dentro da faixa”. Por outro lado, se o dado de saída estiver fora da faixa esperada, desejada ou observada, os dados de entrada e de saída são acrescentados a uma segunda amostra, a qual agrega os valores “fora da faixa”.

3.9 CALIBRAÇÃO E VERIFICAÇÃO

De acordo com von Sperling (2007), a calibração tem o objetivo de obter um bom ajuste entre os dados observados e os estimados através da variação dos

parâmetros, e para a verificação da calibração é realizada a análise dos erros ou resíduos os quais devem cumprir com determinadas propriedades. Para que se possa ter noção da aplicabilidade do modelo, as condições em que a calibração foi realizada devem ser especificadas.

Para Bárbara (2006), a calibração consiste no operador aprimorar o seu modelo, aproximando ao máximo dos valores obtidos *in loco*. Esse procedimento deve ser feito de forma paulatina, objetivando verificar as respostas do referido modelo frente às alterações que o usuário promova nos valores e faixas dos parâmetros pré-definidos pela análise de sensibilidade, levando em consideração suas faixas de variação e sua coerência na modelagem, de tal forma que a calibração seja otimizada.

A calibração pode ser feita **manualmente**, de maneira informal, variando-se os valores dos parâmetros de forma que a soma dos quadrados dos resíduos diminua, até que se obtenha um ajuste considerado pelo analista como satisfatório (VON SPERLING, 2007).

A calibração pode ser feita também de forma **automatizada**, por meio de algum método de otimização que faça a busca entre possíveis valores dos coeficientes, e que por meio de um algoritmo, convirja no conjunto de valores que conduza à menor soma dos quadrados dos resíduos (VON SPERLING, 2007).

3.10 AVALIAÇÃO DO AJUSTE DO MODELO

A avaliação do ajuste entre os dados observados e os modelados é sempre difícil, e dentre as metodologias existentes podemos destacar:

❑ **Visualização de gráficos**

A visualização é um método em que se pode descartar resultados de simulações que não apresentam aderência visível aos dados observados, contudo para obter um resultado mais acurado, faz-se necessário a utilização de outras metodologias.

O princípio desse método consiste em elaborar um gráfico que apresente os dados observados como os dados simulados e a partir de então escolher o melhor modelo.

❑ Coeficiente de determinação

É uma relação entre a soma dos quadrados dos resíduos e a variância total dos dados observados, sendo expresso como:

$$CD = 1 - \frac{\sum (Y_{obs} - Y_{est})^2}{\sum (Y_{obs} - Y_{obsméd})^2} \quad (29)$$

Em que:

Y_{obs} = valor observado

Y_{est} = valor estimado

$Y_{obsméd}$ = media dos valores observados

Julgamentos baseados puramente na estatística de CD podem por vezes levar a interpretações pouco conclusivas, pelo fato dos valores de CD serem bastante influenciados pela variabilidade ou não dos dados observados. Quando os dados observados apresentam pouca variabilidade, o denominador na equação é pequeno, e assim é mais difícil se obterem maiores valores de CD (VON SPERLING, 2007).

3.11 VERIFICAÇÃO DO MODELO (ANÁLISE DOS RESÍDUOS)

A análise dos resíduos pode fornecer importantes informações sobre a adequabilidade do modelo, e das possíveis transformações a serem introduzidas no mesmo, de forma a melhorar a sua capacidade explicativa (VON SPERLING, 2007).

A análise formal do desempenho de um modelo deve incluir também a investigação dos resíduos, de forma a complementar a compreensão do modelo, não se restringindo apenas à interpretação do coeficiente de determinação (VON SPERLING, 2007). A análise dos resíduos é também conhecida como a etapa de **verificação** do modelo (BECK, 1983^a apud VON SPERLING, 2007).

Abaixo seguem algumas definições que podem auxiliar na interpretação dos resultados obtidos na verificação do modelo através da análise dos resíduos (VON SPERLING, 2007).

- ❑ A **média** da distribuição probabilística dos erros deve ser **zero**
- ❑ A **variância** da distribuição dos erros deve ser **constante** ao longo de x
- ❑ A **distribuição** de probabilidade dos erros deve ser **normal**

- ❑ Os erros associados a duas observações diferentes devem ser **independentes**, ou seja, o erro associado a um valor de y não deve ter efeito nos erros associados a outros valores de y .
- ❑ Os erros **não devem ser autocorrelacionados** (o erro em um determinado ponto ou tempo não deve ser correlacionado com erros em pontos ou tempos anteriores ou posteriores).

3.12 VALIDAÇÃO

De acordo com von Sperling (2007), a validação corresponde à avaliação do ajuste do modelo submetido a condições diferentes daquelas usadas na calibração. Para isso, utiliza-se um ou mais conjuntos de dados experimentais independentes, e distintos dos dados usados na calibração. Caso o modelo não forneça bons ajustes aos novos conjuntos de dados, deve-se reanalisá-lo e tentar novas calibrações. Caso o modelo forneça bons ajustes aos novos conjuntos de dados, considera-se que o modelo possa estar validado.

No entanto, de acordo como o mesmo autor, um modelo nunca pode ser estritamente validado, no sentido de que os seus resultados se adequarão à realidade em todos os aspectos, pois sempre haverá outras condições (não medidas), para os quais os modelos não teriam um bom desempenho pelo fato da etapa de validação envolver a concepção de implementação de novos experimentos, ela infelizmente é pouco praticada.

3.13 ESTUDOS DESENVOLVIDOS NA BACIA DO RIO COXIPÓ

Diversos estudos já foram realizados na bacia do rio Coxipó, entre eles cita-se:

Gomes (1984 apud LIBOS 2002) avaliou a capacidade de autodepuração do rio Cuiabá a partir da identificação das fontes pontuais domésticas e industriais localizadas ao longo desse rio Cuiabá e do rio Coxipó, no período de cheia e estiagem, de 1982 a 1984.

Teixeira (1994 apud LIBOS 2002) aplicou o modelo computacional QUAL2E aos rios Cuiabá e Coxipó, com o objetivo de avaliar e simular a qualidade da água, a partir da situação no ano de 1993. Procurou ainda estabelecer uma projeção futura da qualidade de água do trecho urbano do rio Cuiabá para os anos de 1995 a 2005, adotando hipótese de remoção de carga doméstica da ordem de 80%, 50% e 0%, considerando vazões hidrológicas mínimas e médias.

Rocha (2003) realizou coletas e medições em duas seções, localizadas à montante e jusante da área urbana de Cuiabá, com a finalidade de avaliar as ações antrópicas no meio físico a partir dos impactos sedimentológicos. E os resultados mostraram que a capacidade de transporte da vazão sólida na calha do rio Coxipó vem diminuindo, provavelmente devido a problemas de erosão, sedimentação e transporte de sedimentos, decorrente das atividades antrópicas praticadas na bacia, com maior intensidade na área urbana.

Almeida Filho (2003) avaliou a relação do uso e ocupação do solo na qualidade da água superficial na bacia do rio Coxipó, MT, comparando a qualidade da água do rio Coxipó, no ponto de coleta da ETA Tijucal antes e após a implementação do Parque Nacional de Chapada dos Guimarães. Os resultados demonstraram que os dados de qualidade de água apresentaram uma tendência decrescente, quando comparados os dois períodos de estudo, e o Parque Nacional de Chapada dos Guimarães, criado no ano de 1989, serviu para conter o processo de degradação ambiental que vinha ocorrendo na bacia do rio Coxipó.

Sobrinho (2006) realizou uma avaliação da qualidade da água do rio coxipó no perímetro urbano da cidade de Cuiabá, onde os dados indicaram que os valores médios das variáveis físico-químicas foram, em parte, influenciados pela sazonalidade do ciclo anual. As variáveis turbidez, cor, sólidos totais foram diretamente afetadas pelos níveis de precipitação dos períodos, sendo mais elevadas durante o período chuvoso. Os dados indicaram ainda o comprometimento da qualidade sanitária da água pelos elevados índices de coliformes se apresentando, nos pontos de amostragem localizados no perímetro urbano da cidade de Cuiabá-MT, fora dos limites estabelecidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA para corpos d'água de classe 2. No entanto, foi verificado pelos dados levantados que as

concentrações de OD e DBO se apresentaram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA para rios da mesma classe.

SILVA (2007) analisando a qualidade da água a jusante de uma piscicultura no Rio Mutuca, afluente do rio Coxipó, encontrou diferenças significativas de concentrações de fósforo em relação a montante da piscicultura.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO

A bacia do Rio Coxipó está inserida na Bacia do Rio Cuiabá, que pertence a Região Hidrográfica do Paraguai, localizada no estado de Mato Grosso, na região Centro Oeste do Brasil, situada entre as coordenadas $15^{\circ}39'30''$ e $15^{\circ}16'56''$ S e $56^{\circ}02'03''$ e $55^{\circ}45'00''$ W, conforme apresentado na Figura 5, abrangendo parte dos municípios de Chapada dos Guimarães e Cuiabá, com uma área de drenagem de aproximadamente 678 km².

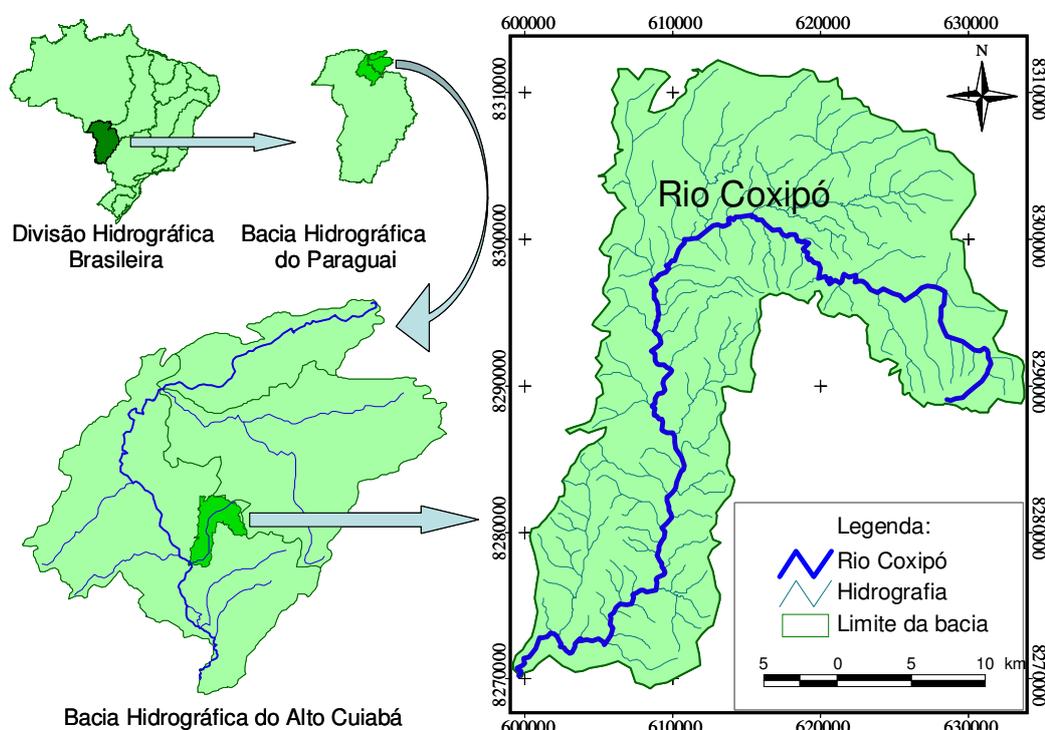


Figura 5: Localização da bacia do Rio Coxipó.

De acordo com Rocha (2003), a bacia apresenta forma alongada, formando um arco orientado para a direção leste. Sua rede de drenagem é formada pelo rio Coxipó e seus afluentes, sendo os mais importantes os rios: Coxipózinho, Claro, Mutuca, dos Peixes e córregos: Buriti, Monjolinho, Salgadeira, Independência, Paciência, Três Barras, Gameta e Moinho pela margem direita e córregos Coxipó Mirim, Tijuca e Castelhana na margem esquerda.

4.2 VEGETAÇÃO

A região apresenta fisionomias de savana arbórea aberta com floresta de galeria (campo-cerrado), savana arbórea densa (cerradão), região de floresta estacional semidecidual submontana dossel emergente, e região de contato savana floresta estacional savana arbórea aberta com floresta de galeria (cerrado) (ALMEIDA FILHO, 2003).

Almeida Filho realizou uma classificação das categorias da cobertura vegetal na bacia do rio Coxipó em 2002, com área de drenagem a montante da ETA Tijucal, e relacionou 7 classes, sendo elas: água (0,007%), mata encosta (1,872%), mata ciliar (8,744%), cerrado (48,015%), área degradada (9,094%), pasto (6,011%), agricultura (24,826%), sombra (1,470%).

4.3 SOLOS

Os solos identificados na área de estudo foram: Areia Quartzosas (12%), cambissolo (28%), latossolo (11%), plintossolo (<1%), podzólico (3%), concrecionários (33%) e litólicos (13%), conforme observado na Figura 6 .

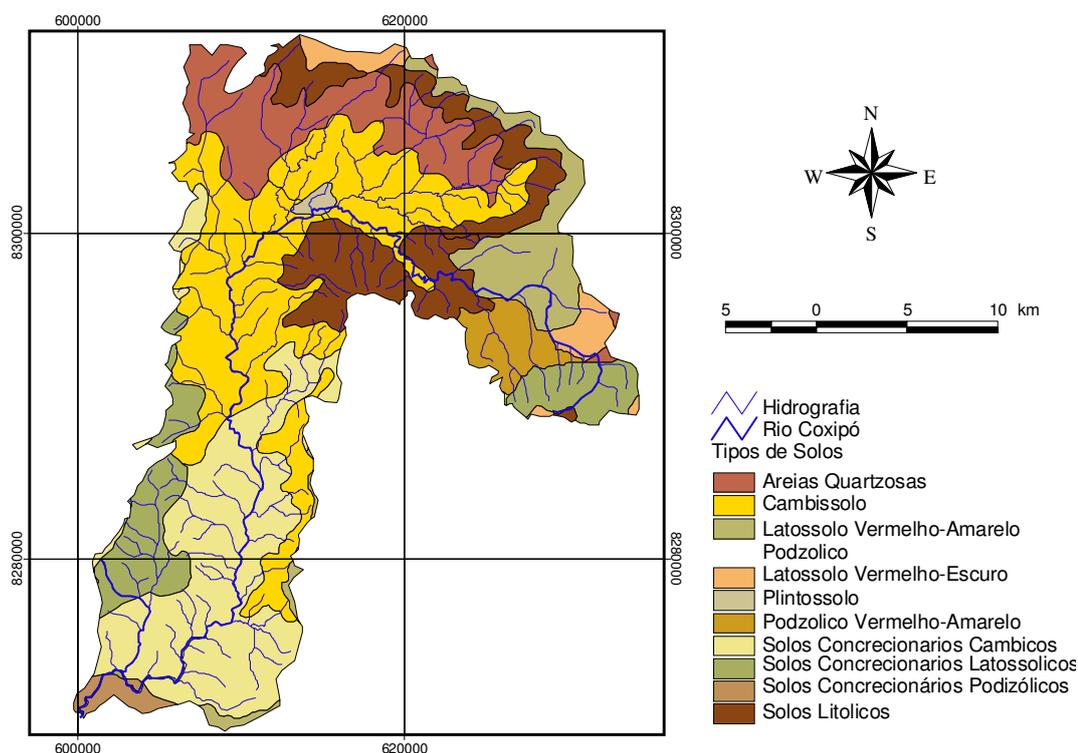


Figura 6: Distribuição espacial dos solos presentes na bacia do rio Coxipó.

Fonte: Base de dados RADAM BRASIL (1982) – Escala 1:1.500.000

As areias quartzosas não hidromórficas e as areias quartzosas hidromórficas, quando não hidromórficas, são solos excessivamente drenados, porém quando hidromórficas são imperfeitamente ou mal drenadas, sendo particularmente susceptíveis à erosão em profundidade, em razão de sua constituição arenosa com grãos soltos, que propiciam o desbarrancamento, contudo a erosão superficial também é verificada, porém perde sua eficácia em razão da grande permeabilidade destes solos (SEPLAN, 2000).

Os cambissolos são solos pouco profundos a rasos e de modo geral, são solos bastante susceptíveis à erosão. A maior parte da área destes solos ocorre em relevo ondulado, fortemente ondulado ou montanhoso, onde as limitações à agricultura são fortes ou muito fortes, em decorrência da susceptibilidade à erosão. Têm também erodibilidade bastante variável, em razão da diversificação de suas características de textura, profundidade, permeabilidade etc., em que sulcos e ravinas são muito comuns sobre estes solos (SEPLAN, 2000).

Os Latossolos Vermelho-Escuros também possuem ótimas condições físicas, as quais, aliadas ao relevo plano ou suavemente ondulado onde ocorrem, favorecem sua utilização com as mais diversas culturas adaptadas à região. Estes solos, por serem ácidos e distróficos, requerem correção de acidez e fertilização. Têm relativamente boa resistência ao processo de erosão superficial, em condições naturais ou de bom manejo. No que diz respeito à erosão em profundidade, são muito susceptíveis (SEPLAN, 2000).

Os latossolos vermelho amarelo também possuem boas condições físicas que, aliadas ao relevo plano ou suavemente ondulado, favorecem a utilização com diversas culturas adaptadas ao clima da região. As principais limitações decorrem da acidez elevada e da fertilidade baixa, agravadas nos solos de textura média que são mais pobres. Requerem um manejo adequado com correção da acidez e fertilização, com base em resultado de análises dos solos e controle de erosão, sobretudo nos solos de textura média que são mais susceptíveis à erosão. A deficiência de micronutrientes pode ocorrer sobretudo nos solos de textura média. O seu comportamento com relação à erosão é semelhante ao dos Latossolos Vermelho-Escuros (SEPLAN, 2000).

De uma maneira geral, o podzólico vermelho amarelo pode-se dizer que os Podzólicos são solos bastante susceptíveis à erosão, sobretudo quando há maior diferença de textura do A para o B, presença de cascalhos e relevo mais movimentado com fortes declividades. Neste caso, não são recomendáveis para agricultura, prestando-se para pastagem e reflorestamento ou preservação da flora e fauna (SEPLAN, 2000).

Os solos concrecionários apresentam grande quantidade de concreções lateríticas, consolidadas na massa do solo (normalmente mais de 50% do volume ocupado por concreções), que dificultam muito o uso de máquinas agrícolas. Além disso, os solos são pobres, com baixa saturação de bases (SEPLAN, 2000).

Os solos litólicos possuem pequena espessura, freqüentemente com cascalhos e fragmentos de rocha, apresentando grande susceptibilidade à erosão, mormente nas áreas de relevo acidentado, em que esses solos mais freqüentemente ocorrem. A susceptibilidade à erosão é altíssima, sendo determinada basicamente pela ocorrência

do substrato rochoso à pequena profundidade, fato agravado pela sua ocorrência preferencialmente em locais declivosos (SEPLAN, 2000).

Os solos da Baixada Cuiabana, em geral, são ácidos, pobres em fósforo, com teor de potássio variando de médio a bom, com matéria orgânica normalmente acima de 2,5%, baixo valor de pH e elevados teores de alumínio trocável. Os teores de cálcio e magnésio são baixos ou quase inexistentes (SEPLAN, 1997 apud ALMEIDA FILHO, 2003).

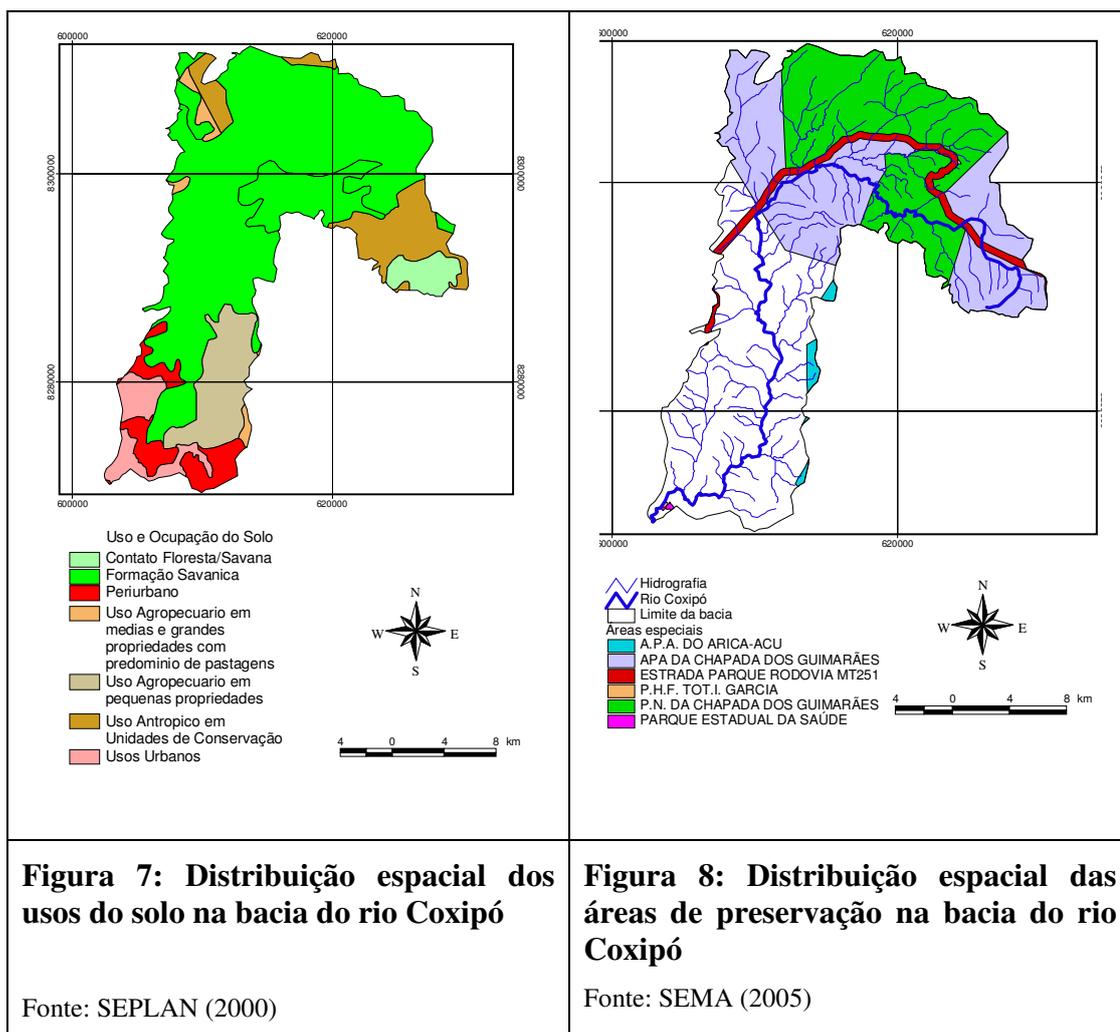
4.4 USO E OCUPAÇÃO DA BACIA

O uso e ocupação do solo constitui a representação da distribuição espacial das formações naturais e da apropriação do espaço, decorrente de processos e ações do homem sobre os meios físico e biótico pré existentes, expressando uma dinâmica temporal, espacial e de interação de inúmeros fatores (SEPLAN, 2000).

Neste contexto, a bacia do rio Coxipó possui áreas para preservação do meio ambiente, em que cita o Parque Nacional de Chapada dos Guimarães, Área de Preservação Ambiental de Chapada dos Guimarães, a Área de Preservação Permanente do Aricá Açu, Parque Estadual da Saúde e o Parque Horto Florestal Toti Garcia (Figura 7).

Além dessas áreas de preservação na bacia, existe presença de uso agropecuário em médias e grandes propriedades com predomínio de pastagens, uso agropecuário em pequenas propriedades, usos urbanos (Figura 8). Na bacia existe ainda, desmatamentos, ocupações irregulares, loteamentos, atividades de mineração, dragas, entre outros.

Santos (2008) salienta que o aterro sanitário de Cuiabá encontra-se localizado no divisor de três sub bacias: Córrego Doutor, Córrego Três Barras e Ribeirão do Lipa, em que os dois primeiros córregos pertencem à bacia do rio Coxipó.



4.5 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

A área da bacia do rio Coxipó apresenta forma alongada, com nascente localizada na serra de Atimã, com altitudes em torno de 840 metros e sua foz no rio Cuiabá a 150 metros de altitude.

A forma mais alongada da bacia hidrográfica indica que a precipitação pluviométrica se concentra em diferentes pontos, concorrendo para amenizar a influência da intensidade de chuvas, as quais poderiam causar maiores variações da vazão do curso d'água (CARDOSO, 2006).

Na Tabela 12 são apresentadas as características morfométricas da área de drenagem da bacia do rio Coxipó.

Tabela 12: Características físicas da bacia do rio Coxipó.

Parâmetro	Valor	Unidade
Comprimento Axial do Curso d'água Principal (L)	78,58	Km
Área de Drenagem da Bacia (A)	678	Km ²
*Tempo de Concentração (Tc)	12,55	h
Índice de Compacidade da Bacia (Ic)	1,98	-
Índice de circularidade	0,25	-
Densidade de Drenagem da Bacia (Dd)	0,74	Km/Km ²
Ordem de Curso d'água (N)	5	-

Fonte: *Rocha (2003)

A bacia e sub-bacias do rio Coxipó possui uma baixa potencialidade de grandes vazões e enchentes (ROCHA, 2003), uma vez que o coeficiente de compacidade observado foi de 1,98, pois quanto mais irregular a mesma for, maior será esse coeficiente, em que a tendência para maiores enchentes é tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o valor.

O sistema de drenagem, de acordo com a hierarquia de Strahler, apresenta grau de ramificação de quinta ordem, em que ordem inferior ou igual a quatro é comum em pequenas bacias hidrográficas e reflete os efeitos diretos do uso da terra, considera-se que, quanto mais ramificada a rede, mais eficiente será o sistema de drenagem (TONELLO, 2005).

Deordo com VILELLA & MATTOS (1975), índices de densidade de drenagem em torno de 0,5 km/Km² indicariam uma drenagem pobre, representando uma resposta lenta da bacia a uma precipitação.

4.6 ASPECTOS DEMOGRÁFICOS

4.6.1 Aspectos demográficos do município de Cuiabá

De acordo com dados do perfil sócio econômico de Cuiabá de 2007, o município possuía em 2000, 483.346 habitantes e 152.810 domicílios, com população predominantemente urbana. Atualmente a população está em 526.830 habitantes conforme divulgado pelo IBGE em 2007.

4.6.2 Aspectos demográficos dos bairros pertencentes à bacia do rio Coxipó

Neste estudo, dar-se-á enfoque a área do município de Cuiabá que estão inseridos na bacia do rio Coxipó. Para isso, lançou-se mão de um mapa georreferenciado dos bairros de Cuiabá fornecidos pelo INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO URBANO DE CUIABÁ (CUIABÁ, 2004), de um mapa com a delimitação da bacia do rio Coxipó e os dados populacionais, de área e de saneamento obtido do Perfil Socioeconômico de Cuiabá do ano de 2007.

De posse desses dados, os mapas de abairramento e limite da bacia foram sobrepostos utilizando o programa *ArcView*, e a área inserida dentro da bacia foi recortada, e posteriormente calculadas as áreas dos bairros que estão dentro e fora dos limites da bacia, resultando na Tabela 13 e Figura 9.

Esses dados são relevantes, pois permite fazer algumas estimativas como população proporcional a área, consumo de água na bacia, produção de esgoto e resíduos sólidos doméstico, assim como traçar estratégias de gestão dos recursos hídricos.

Tabela 13: Percentual de área de drenagem dos bairros inseridos na bacia do rio Coxipó

BAIRROS	% de Área Drenada	BAIRROS	% de Área Drenada
Altos do Coxipó	100	Nossa Senhora Aparecida	6,4
Bela Marina	85,2	Nova Esperança	33,2
Bela Vista	18,5	Novo Horizonte	100
Boa Esperança	67,0	Novo Mato Grosso	100
Cachoeira das Graças	100	Osmar Cabral	100
Carumbé	75,6	Paraíso	22,6
Coophema	83,6	Parque Ohara	100
Coxipó	98,0	Pascoal Ramos	80,5
CPA	14,3	Pedra 90	12,5
Jardim Califórnia	10,4	Planalto	100
Jardim Comodoro	4,7	Praeirinho	5,4
Jardim Cuiabá	100	Primeiro de Março	100
Jardim das Palmeiras	100	Recanto dos Pássaros	100
Jardim dos Ipês	100	Res. Itamaraty	100
Jardim Eldorado	100	Res. Santa Inês	100
Jardim Fortaleza	100	Res. São Carlos	100
Jardim Gramado	5,0	Santa Cruz	100

Continuação da Tabela 13:

BAIRROS	% de Área Drenada	BAIRROS	% de Área Drenada
Jardim Imperial	100,0	Santa Laura	100
Jardim Industriário	7,0	São Gonçalo Beira Rio	35,9
Jardim Itália	52,2	São João Del Rey	100
Jardim Passaredo	0,8	São José	72,0
Jardim Shangri-Lá	64,4	São Roque	100
Jardim Universitário	100	São Sebastião	100
Jordão	100	Sol Nascente	100
Lagoa Azul	84,5	Tijucal	99,3
Morada da Serra	100	Três Barras	100
Morada do Ouro	74,6	UFMT	11,8
Morada dos Nobres	100	Vista Alegre	14,5

A partir do percentual de área drenada foi possível calcular a população proporcional de cada bairro (considerando que a distribuição populacional fosse homogênea), obteve-se 172203 habitantes para o ano de 2000, densidade populacional entre 0,79 a 185,77 hab/ha., para a bacia do rio Coxipó.

A Figura 9 apresenta os 56 bairros contidos na bacia do rio Coxipó, em que estão representados apenas os bairros regularizados junto a Prefeitura Municipal de Cuiabá, e que constam no Perfil Socioeconômico de Cuiabá, conforme apresentado em Cuiabá (2007).

A bacia do rio Coxipó possuía aproximadamente 36 % da população do município de Cuiabá em 2000. Duas sub bacias importantes estão inseridas na bacia do rio Coxipó, a do córrego do Moinho e Castelhana. A primeira possui aproximadamente de 61% da população da bacia do rio Coxipó, enquanto segunda possui aproximadamente 14%. Ambas apresentam no total, 75% da população da bacia do rio Coxipó.

O córrego Castelhana e o córrego do Moinho estão respectivamente na margem esquerda e direita do rio Coxipó, com a confluência com o rio no quilômetro 4,8 e 10,05, respectivamente. Esses córregos foram escolhidos, pois drenam importantes bairros da bacia do rio Coxipó.

Pertencem total ou parcialmente a área de drenagem do córrego do moinho 26 bairros, são eles: Jardim Imperial, Jardim Universitário, Cachoeira das Garças, Recanto dos Pássaros, CPA, Paraíso, Morada do Ouro, Bela Vista, Jardim Itália, Carumbé, São Roque, Res. Santa Inês, Res. São Carlos, Morada dos Nobres, Jordão,

Santa Cruz, Jardim Eldorado, Sol Nascente, Novo Mato Grosso, Morada da Serra, Jardim Cuiabá, Res. Itamaraty, Planalto, Primeiro de Março, Novo Horizonte e Três Barras.

Pertencem total ou parcialmente a área de drenagem do córrego do Castelhanao 10 bairros, são eles: Jardim Passaredo, Nova Esperança, Tijucal, Jardim Industriário, Pascoal Ramos, São Sebastião, Lagoa Azul, Altos do Coxipó, Jardim dos Ipês, Pedra 90.

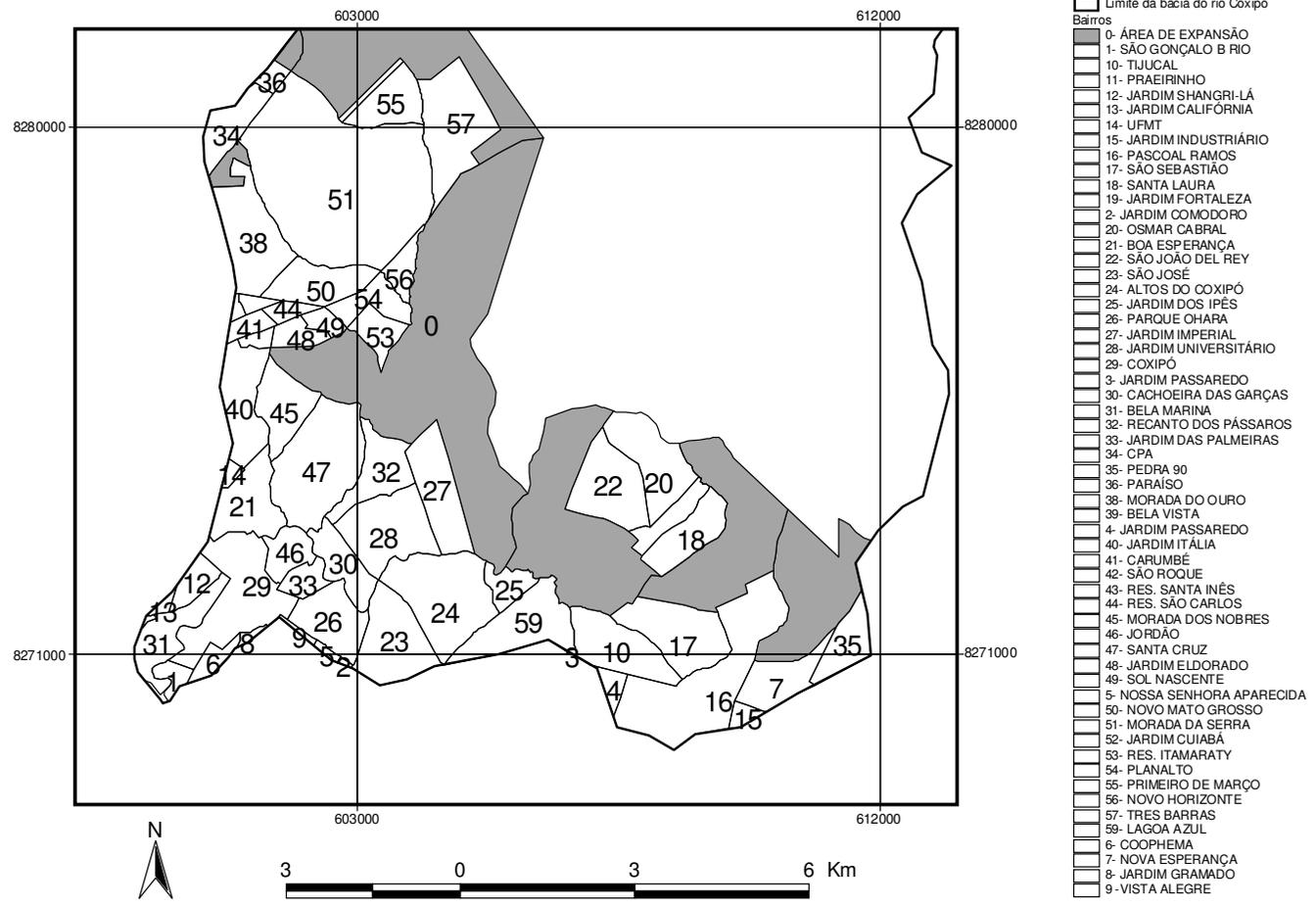


Figura 9: Representação dos bairros drenados pela bacia do rio Coxipó

4.7 USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA NA BACIA

As discussões apresentadas a seguir referem-se aos bairros pertencentes à área de drenagem do rio Coxipó independentemente do percentual de área drenada.

4.7.1 Abastecimento de água

De acordo com Cuiabá (2007b) a Sanecap abastece 98% da população de Cuiabá com a água das Estações de Tratamento de Água (ETAs) São Sebastião I e II, Tijucal I e II, Parque Cuiabá, Ribeirão do Lipa, CoopHEMA e Porto. As ETAs produzem 2472 l/s, a que se somam 419 l/s procedentes de 83 poços tubulares em operação permanente e/ou intermitente, que totalizam 2.891 l/s.

De acordo com os dados do Perfil Socioeconômico do município de Cuiabá de 2007, dos domicílios que estão inseridos na bacia do rio Coxipó, em 2002, aproximadamente 92,5% eram abastecidos pela rede geral enquanto 4,9% domicílios eram abastecidos por poço (na propriedade) ou nascente e 2,6% obtêm água de outra forma. Observa-se então que a maior parte da bacia retira água de mananciais superficiais.

A ETA Tijucal é a única estação de abastecimento público existente na bacia, captando água no rio Coxipó. Ela está localizada na Avenida Dr. Meireles S/N no bairro: São João Del Rey com as coordenadas geográficas de 15°36'44,6"S e 56°0'33,9"W.

De acordo com Cuiabá (2007c), as obras de duplicação da capacidade de produção da Estação de Tratamento de Água (ETA) do Tijucal tiveram início em junho/2006 beneficiando os bairros como o Doutor Fábio, 1º de Março, Pascoal Ramos, Parque Nova Esperança I, II e III, São Sebastião, Pedra 90, Jardim Industriário I e II e Santa Laura, entre outros.

Segundo Cuiabá (2007c), atualmente a ETA do Tijucal trata 500 l/s. A nova estação será responsável pela produção de 500 l/s, resultando em 1000 l/s, o que garantirá água tratada para aproximadamente 30% da população cuiabana, cerca de 240 mil moradores de bairros periféricos da cidade.

Após a conclusão da obra a Prefeitura Municipal de Cuiabá iniciará, por meio da SANECAP, a desativação de mais de 60 poços tubulares

profundos. No projeto ainda está incluída um sistema para o tratamento do lodo gerado pela ETA Tijucal, onde atualmente esses sólidos são lançados no rio Coxipó.

4.7.2 Esgotamento sanitário

O rio Coxipó tem sido utilizado para a diluição dos efluentes gerados em suas sub-bacias, entre eles efluentes domésticos e industriais, que são responsáveis pelo processo de degradação da qualidade da água, que pode ser decorrente do lançamento de despejos domésticos.

O sistema de coleta de esgoto de Cuiabá realiza-se por três sistemas distintos: sistema misto (coleta de águas pluviais e esgoto em um único sistema), sistema separador absoluto (sistemas de coleta, um para esgoto e um para águas pluviais) e pelo sistema condominial (coleta dentro dos lotes urbanos) (Cuiabá, 2007b) ⁱ.

De acordo com Cuiabá (2007b), o principal sistema de Tratamento de Esgotos é a ETE Engenheiro Zanildo Costa Macedo, também chamado ETE Dom Aquino, do tipo lodo ativado com aeração prolongada e capacidade para tratar 600l/s. A cidade conta com treze ETEs de médio e grande porte, vinte ETEs de pequeno porte e 25 estações elevatórias. O processamento se dá em 5 lagoas de estabilização, duas estações de lodo ativado com aeração prolongada, três reatores anaeróbios de fluxo ascendente (RAFA), dois decantodigestores Imhoff e 21 sistemas de fossas sépticas e filtros anaeróbios (Cuiabá, 2007) ⁱⁱ.

De acordo com a mesma fonte, Cuiabá possuía em 2005, 47699 ligações de esgotos, representando 38% das ligações de água da capital, mas apenas 29% do esgoto eram coletados e efetivamente tratados.

De acordo os dados do Perfil dos bairros de 2007, do total de domicílios pertencentes à bacia do rio Coxipó, 98,57% domicílios possuíam banheiro ou sanitário. Do total de domicílios que possuem banheiros 49,33% eram ligados à rede geral de esgoto ou rede pluvial, 21,2% utilizavam fossas sépticas, 27,46 % fossas rudimentares, 0,62% utilizavam para escoamento a vala, 1,06% rios ou lagos e 0,33

^{i ii} Relatório técnico preliminar do sistema de esgoto sanitário de Cuiabá – MT. SERET S.A. Engenharia, 1972 e informações fornecidas pela Sanecap, em 2006 apud Cuiabá (2007b).

% utilizavam outros escoamentos. No entanto, de acordo com Lima (2004), a bacia do rio Coxipó apresenta 27,8 de coleta de esgotos sendo que 21% recebem tratamento em 30 sistemas isolados.

Na Tabela 14 são apresentados as estações de tratamento de esgotos com seus respectivos tipos de tratamento que estão dentro da bacia do rio Coxipó e a Tabela 15 apresenta o sistema de coleta e tratamento de esgotos dos bairros da bacia do rio Coxipó.

A Figura 10 apresenta um mapa da localização espacial dos locais atendidas pelo sistema de coleta de esgotos, segundo tipo de tratamento no ano de 2005, conforme informações obtidas em Cuiabá (2007b), enquanto a Figura 11 apresentam as localidades atendidas pelo sistema de tratamento de esgotos, segundo sistema de coleta de esgotos.

Tabela 14: Estações de tratamento de esgotos existentes na bacia do rio Coxipó

Estação de Tratamento de Esgoto	Tipo de Tratamento
ETE do Jardim Universitário	Lodos ativados
Morada do Ouro	Lagoas de estabilização
ETE Tijucal	Lagoas de estabilização
ETE CPA	Lagoas de estabilização
Sistema Três Barras	RAFA
Sistema UFMT	RAFA
Pedra 90	Fossa séptica e filtro anaeróbio (Desinfecção coletiva).
Recanto dos Pássaros	Fossa séptica e filtro anaeróbio (Desinfecção coletiva).
Morada da Serra 5	Fossa séptica e filtro anaeróbio (Desinfecção coletiva).

Fonte: (Cuiabá, 2007d)

Tabela 15: Localidades atendidas pelo sistema de coleta de esgoto em Cuiabá, segundo o tipo de tratamento – Ano 2005.

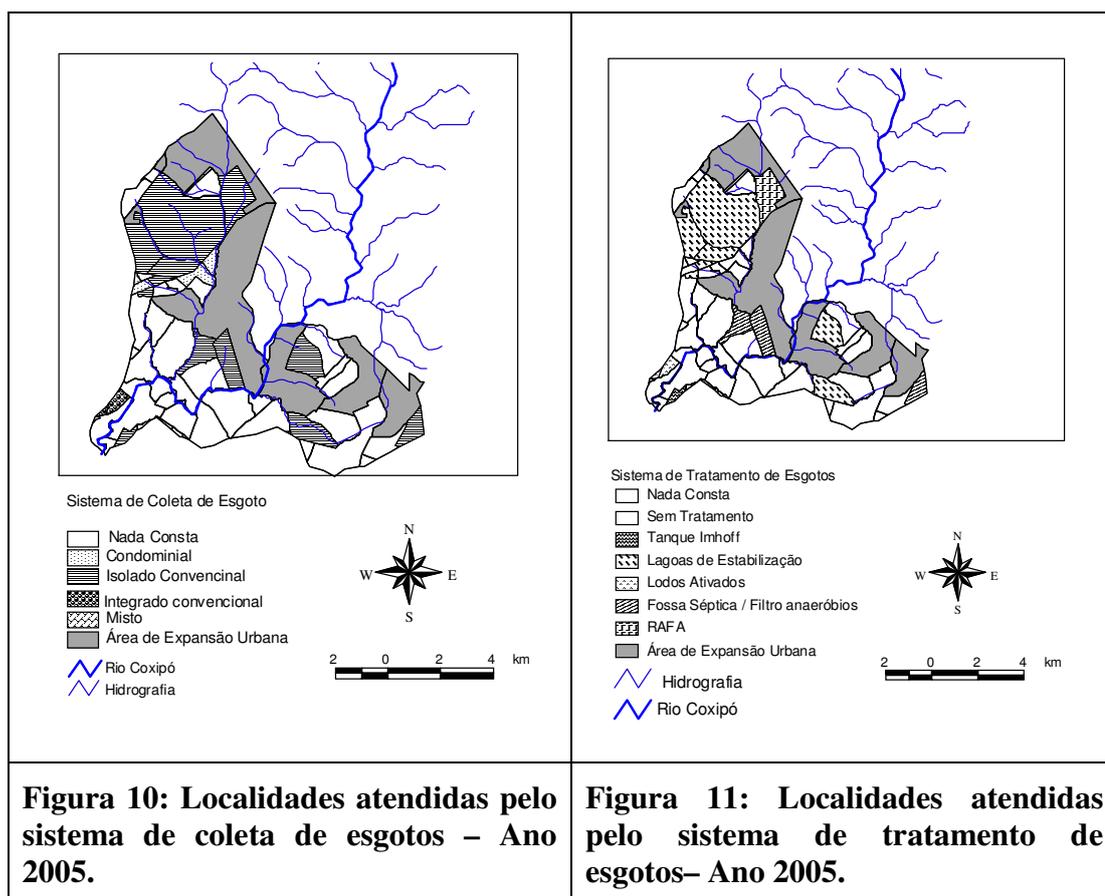
Bairros	Tipo de Coleta	Tratamento de Esgoto
Bela Vista	Condominial	Sem tratamento
Carumbé	Condominial	Sem tratamento
Coopema	Isolado Convencional	Tanque Imhoff
CPA	Isolado Convencional	Lagoas de Estabilização
Jardim Califórnia	Integrado Convencional	ETE Dom Aquino
Jardim Cuiabá	Misto	ETE Dom Aquino
Jardim Imperial	Isolado Convencional	Fossa séptica / Filtro anaeróbio
Jardim Shangri-lá	Integrado Convencional	ETE Dom Aquino (parcialmente tratado)
Morada do Ouro	Isolado Convencional	Lagoas de Estabilização

Continuação da Tabela 15

Bairros	Tipo de Coleta	Tratamento de Esgoto
Novo Horizonte	Condominial	Sem tratamento
Novo Mato Grosso	Isolado Convencional	Lagoas de Estabilização (parcialmente tratado)
Pedra 90	Isolado Convencional	Fossa séptica / Filtro anaeróbio
Planalto	Condominial	Sem tratamento
Praeirinho	Condominial	Sem tratamento
Recanto dos Pássaros	Isolado Convencional	Fossa séptica / Filtro anaeróbio
Res. Santa Inês	Isolado Convencional	Lagoas de Estabilização
Res. São Carlos	Isolado Convencional	Lagoas de Estabilização
São João Del Rey	Isolado Convencional	Lagoas de Estabilização
Tijucal	Isolado Convencional	Lagoas de Estabilização
Três Barras	Isolado Convencional	Reator anaeróbio (RAFA)

Fonte: Cuiabá (2007b).

Nota: Os bairros que não constam nesta planilha não estão inclusos na planilha: “Localidades Atendidas pelo Sistema de Coleta de Esgoto em Cuiabá, segundo o tipo de tratamento – Ano 2005”, do perfil socioeconômico de Cuiabá.



4.7.3 Resíduos Sólidos

Os serviços de coleta e disposição de resíduos sólidos são administrados pela prefeitura municipal de Cuiabá, que o dispõe em um aterro sanitário para resíduos doméstico e hospitalar (CUIABÁ, 2007b).

De acordo os dados do Perfil dos bairros de 2007, do total de domicílios pertencentes à bacia do rio Coxipó 93,5% domicílios possuem coleta de lixo, e dos domicílios que possuem coleta 92,3% ela é feita pelo serviço público, 1,3% é coletado por caçamba de serviço de limpeza, 3,7% é queimavam na propriedade, 1,8 são jogados em terreno baldio ou logradouro, 0,6% é jogado em rio ou lago e 0,3 dão outro destino aos resíduos sólidos produzidos.

4.7.4 Praias para Recreação

A bacia do rio Coxipó também é usada para recreação. No Quadro 2 a localização de alguns pontos de recreação na bacia do rio Coxipó, com uma breve descrição dos mesmos.

Quadro 2: Localização dos pontos de recreação na bacia do rio Coxipó

Pontos de Recreação	Coordenadas Geográficas	Descrição do Local
Balneário Dr. Meireles (Rio Coxipó)	S-15°36'36,1'' e W-56°00'44,7''	Localizada no município de Cuiabá, próximo aos Bairros Tijucal e Osmar Cabral. Apresenta mata ciliar. É um local muito freqüentado nos finais de semana.
Ponte de Ferro (Rio Coxipó)	S- 15°32'36,0'' e W- 55°58'30,3''	Localizada no município de Cuiabá, próxima ao Bairro Dr. Fábio e do Arraial dos Freitas. Muito freqüentada pelos banhistas devido à proximidade do centro urbano.
Balneário Coxipó do Ouro (Rio Coxipó)	S-15°27'26,3'' e W-55°58'39,1''	Localizado no Distrito do Coxipó. Foi verificado pela SEMA a presença de banhistas em algumas semanas.
Salgadeira	S-15°21'25,1'' e W- 55°49'46,6''	Localizada no município de Cuiabá, na Rodovia Emanuel Pinheiro, que liga Cuiabá à Chapada dos Guimarães, é muito freqüentado por turistas e banhistas principalmente nos finais de semana. Área de entorno limpa, devido à existência de várias lixeiras.

Fonte: Mato Grosso (2006).

5 METODOLOGIA

Para que a modelagem da qualidade da água represente o comportamento de um corpo hídrico é necessário que as informações de entrada representem à realidade do manancial. Dessa maneira, o estudo da modelagem da qualidade da água foi desenvolvido de acordo com a seqüência descrita a seguir:

- a) Delimitação da bacia hidrográfica;
- b) Escolha do modelo de qualidade de água;
- c) Definição do trecho a ser modelado e discretização do sistema;
- d) Obtenção de dados hidráulicos e de qualidade da água;
- e) Incorporação de dados no modelo;
- f) Análise de sensibilidade;
- g) Calibração;
- h) Simulação dos cenários;

Primeiramente foi feita a delimitação da bacia do rio Coxipó e determinados os pontos mais representativos da qualidade da água na bacia. Foram escolhidos pontos dentro e fora do perímetro urbano.

A partir da determinação dos pontos de coletas foi necessária a instalação de algumas estações fluviométricas, que foram localizadas nos mesmos pontos. As medições de vazão, as coletas de amostras e a compilação dos dados foram realizadas com auxílio de técnicos do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, discentes do curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Física de Meio Ambiente.

Paralelamente a determinação dos pontos de coleta, foi escolhido o modelo de qualidade de água a ser empregado na bacia, que para ser subsidiado fez se necessário à obtenção de bases hidrográficas, de abarramento e modelo numérico de terreno. A calibração do modelo foi realizada a partir dos melhores valores de Kr e

K_2 , que resultassem em maior aderência entre os dados observados e simulados, o que propiciou a simulação de cenários onde diversas intervenções fossem aplicadas na bacia com relação ao saneamento e a crescimentos populacionais.

De posse dos dados foi realizada uma avaliação da qualidade da água de forma a obter um panorama da bacia do rio Coxipó, que foi realizada na seguinte seqüência:

- a) Determinação do período de estiagem e de chuva, para verificar o comportamento da qualidade da água nos referidos períodos.
- b) Comparação do comportamento da qualidade no período chuvoso e de estiagem, por meio de gráficos boxplot e de tabelas com estatísticas descritivas, em que a média utilizada para comparação da variável coliforme foi a geométrica e para as demais variáveis foi utilizada a média aritmética e a mediana.
- c) Comparação do comportamento da qualidade da água entre os pontos de coleta por meio de gráficos boxplot e de tabelas com estatísticas descritivas, igual ao procedimento adotado para o item anterior.
- d) Comparação da qualidade da água com os padrões estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 357/05 e nº 274/00.
- e) Avaliação da qualidade da água a partir da utilização de Índice de Qualidade da Água (IQA) adotado pelo Estado de Mato Grosso.

Maiores detalhes a respeito dos procedimentos supra citados serão fornecidos neste capítulo.

5.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA DO RIO COXIPÓ

Para subsidiar a modelagem e a escolha dos pontos de coleta fez se necessário a delimitação da bacia que foi digitalizado com base nos divisores topográficos utilizando-se as curvas de nível geradas pelo *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), respeitando-se desta forma os valores das cotas altimétricas, com o auxílio do programa *ArcView 3.2*.

O Modelo Numérico do Terreno possui resolução horizontal de 90 metros, disponível para download em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>.

Um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Dados de relevo, informação geológicas, levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, informação meteorológicas e dados geofísicos e geoquímicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um MNT (FELGUEIRAS; CÂMARA, 2001).

Foi utilizado também o mapa hidrográfico do Estado de Mato Grosso fornecido pela Secretária Estadual do Meio Ambiente (SEMA), em formato .shp disponível para download em: <http://www.sema.mt.gov.br/>.

5.2 ESCOLHA DO MODELO DE QUALIDADE DA ÁGUA

O modelo de qualidade de água utilizado para modelar a qualidade da água do rio Coxipó foi o QUAL2K versão 2.07, que foi escolhido pelas seguintes razões:

- ❑ A possibilidade que o programa oferece em subdividir o rio em trechos com as características hidráulicas e de escoamento do rio, o que permite uma representação mais aproximada da realidade do manancial a ser analisado.
- ❑ O fato de ser uma versão mais moderna do QUAL2E que é um modelo de qualidade da água bem documentado e utilizado no mundo.
- ❑ Por ser capaz de modelar um grande número de variáveis utilizadas para avaliação da qualidade da água.

5.3 DEFINIÇÃO E DISCRETIZAÇÃO DO TRECHO A SER MODELADO

O trecho a ser modelado foi escolhido por estar localizado dentro do perímetro urbano do município de Cuiabá, estando assim sujeitos às ações antrópicas que podem contribuir para a deterioração dos recursos hídricos.

O rio Coxipó foi dividido em 10 trechos conforme é apresentado na Figura 12, que foram determinados levando-se em consideração suas características hidráulicas, as distâncias entre os pontos e entre os trechos, com o auxílio do programa *ArcView* e mapa hidrográfico da bacia.

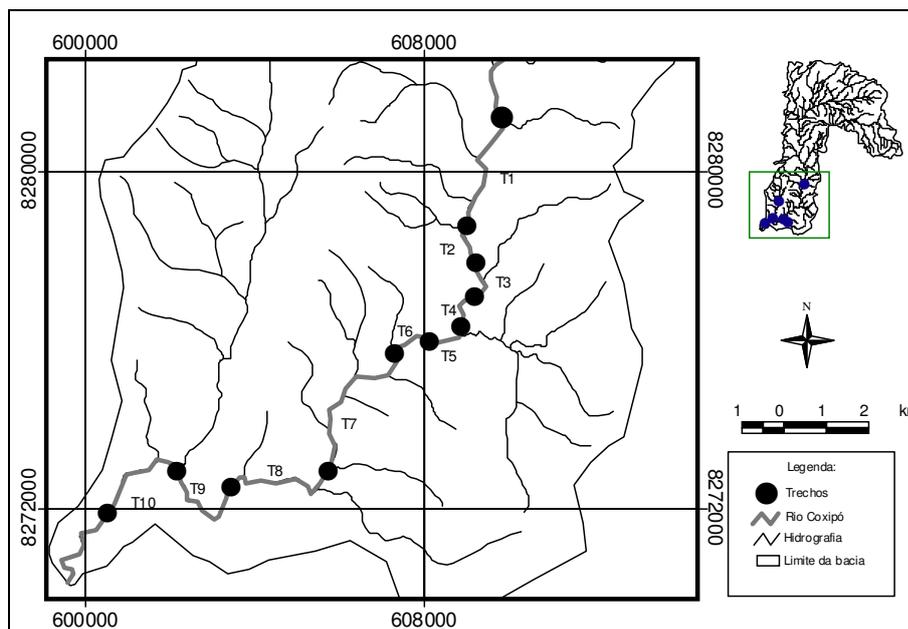


Figura 12: Distribuição dos trechos no rio Coxipó

A Figura 13 apresenta o diagrama unifilar do rio Coxipó com os respectivos pontos de coleta, retiradas de água e lançamento de efluentes, enquanto na Tabela 23 são apresentadas às coordenadas UTM e as distâncias entre os trechos e a foz do rio Coxipó, assim como as características do seu entorno. Ressalta-se que maiores informações relacionadas aos pontos de coleta serão fornecidas no próximo item.

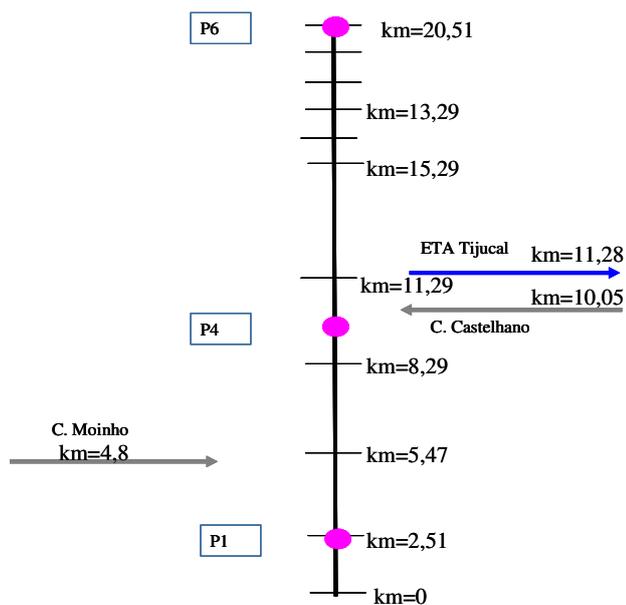


Figura 13: Diagrama Unifilar do rio Coxipó.

Tabela 16: Coordenadas UTM dos trechos, distância da foz e características em seu entorno.

Número do Trecho	Posição do trecho (km)	Coordenadas UTM		H (m)	I (m/m)	Característica
		Latitude	Longitude			
1	22,5 a 20,3	609011	8278719	170 a 170	0,000	Trecho fora do perímetro urbano, com uso agropecuário em pequenas propriedades
2	20,3 a 19,3	609216	8277839	170 a 167	0,003	Trecho fora do perímetro urbano, com uso agropecuário em pequenas propriedades
3	19,3 a 18,3	609182	8277053	167 a 166	0,001	Trecho fora do perímetro urbano, com uso agropecuário em pequenas propriedades
4	18,3 a 17,3	608881	8276323	166 a 164	0,002	Trecho fora do perímetro urbano, com uso agropecuário em pequenas propriedades
5	17,3 a 16,3	608105	8275976	164 a 164	0,000	Trecho fora do perímetro urbano, com uso agropecuário em pequenas propriedades
6	16,3 a 15,3	607299	8275691	164 a 164	0,000	Trecho fora do perímetro urbano
7	15,3 a 11,3	605738	8272893	164 a 162	0,0005	Trecho dentro e fora do perímetro urbano
8	11,3 a 8,3	603443	8272510	162 a 161,5	0,0002	Trecho urbanizado
9	8,3 a 5,5	602166	8272888	161,5 a 161	0,0002	Trecho urbanizado
10	5,5 a 2,5	600396	8271925	158 a 157	0,0003	Trecho urbanizado, no limite do Horto Flotestal Toti Garcia

Nota: H - Altitude; I - Inclinação

Na Figura 14 é apresentada uma representação gráfica da altitude do talvegue em função do comprimento, onde os trechos dos quilômetros 17 a 20, 11 a 15 e 3 a 5, são os que apresentam maior declividade. Essa informação pode indicar quais os trechos do rio estão mais sujeitos a apresentarem corredeiras e por fim influenciar no coeficiente de reaeração.

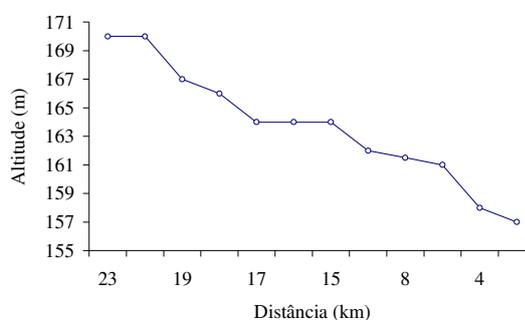


Figura 14: Perfil longitudinal da altitude no rio Coxipó

5.4 OBTENÇÃO DOS DADOS HIDRÁULICOS E DE QUALIDADE DA ÁGUA

A seguir são apresentadas a localização das estações de monitoramento da qualidade e da quantidade de água e os fatores que levaram a sua escolha, seguida das metodologias utilizadas para a obtenção dos dados quali-quantitativos. Salienta-se ainda que os dados referentes à qualidade e quantidade da água foram obtidos em campo por meio de expedições mensais.

5.4.1 Escolha das estações de monitoramento

Na Tabela 17 são apresentadas às coordenadas UTM das estações de monitoramento para determinação da qualidade da água e medições de vazão, enquanto na Figura 15 está uma representação da distribuição espacial desses pontos na bacia.

Tabela 17: Coordenadas UTM das Estações de Monitoramento

Código das Estações	Estações de monitoramento	Latitude	Longitude
P1	P1 - Rio Coxipó - Horto Florestal	600524,6	8271880,5
P2	P2 - Córrego Moinho – Estrada	602377,0	8273249,0
P3	P3 - Córrego Moinho – Bairro	603657,0	8277189,0
P4	P4 - Rio Coxipó Fazenda Rosada	604819,0	8272999,0
P5	P5 - Córrego Castelhana	606086,3	8272322,4
P6	P6 - Rio Coxipó - Ponte de Ferro	609838,0	8281309,0

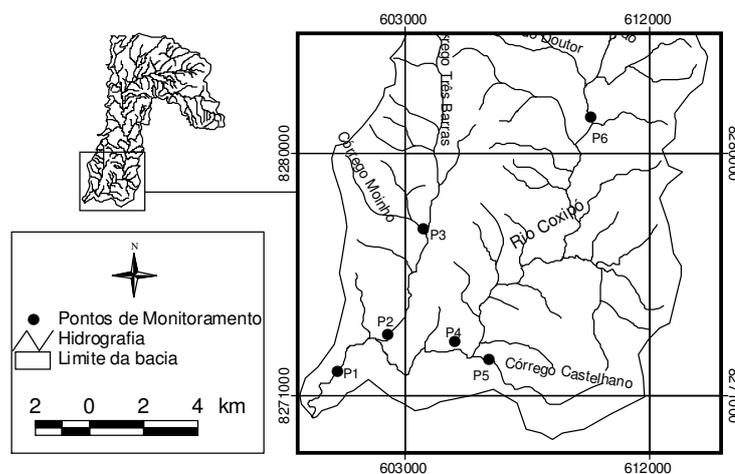


Figura 15: Distribuição espacial das estações de monitoramento

Para a escolha do trecho a ser modelado foi levado em consideração à necessidade de se ter conhecimento de um ponto que tivesse pouca pressão antrópica, e outros pontos que tivessem maior pressão antrópica, assim como facilidade de acesso.

5.4.2 Características das estações de monitoramento

A estação de monitoramento P6 está no km 22,5 considerado como o ponto de menor influência da zona urbana, por estar localizado a montante de todo o lançamento proveniente dos despejos domésticos e industriais e fora do perímetro urbano de Cuiabá (Figura 16).

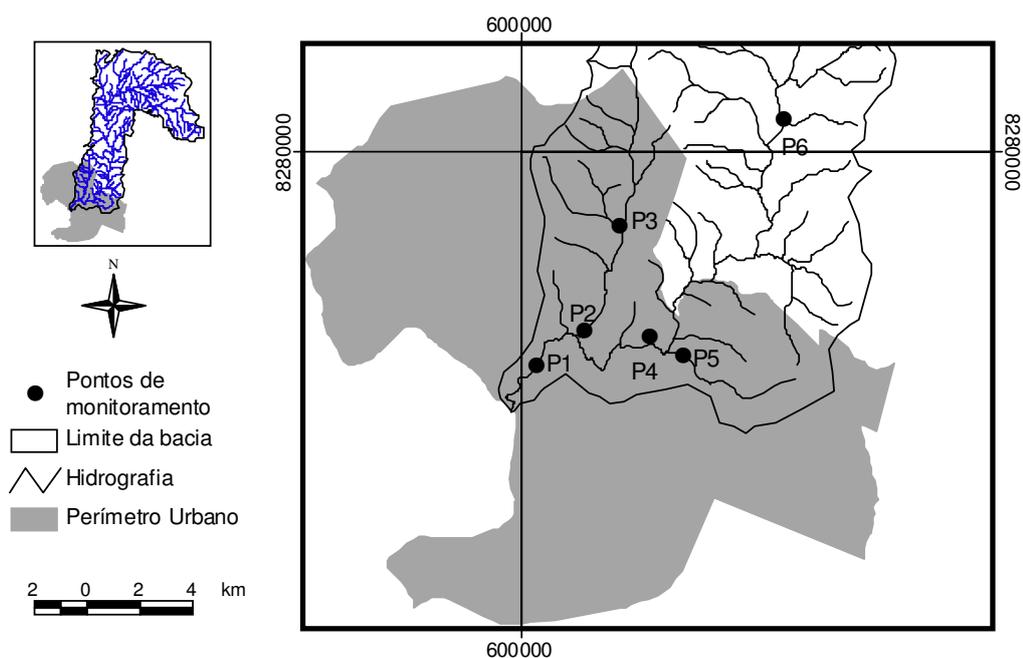


Figura 16: Localização das estações de monitoramento na bacia do rio Coxipó e o perímetro urbano de Cuiabá.

A estação de monitoramento P1 está a 2,51 km da foz do rio Coxipó e foi escolhido por esta proximidade, o que permite conhecer o resultado das ações dadas à bacia, assim como a qualidade da água lançada no rio Cuiabá. A estação também já possui uma estação fluviométrica e é tradicionalmente utilizada em estudos de qualidade e quantidade da água.

O P4 foi escolhido por estar dentro do perímetro urbano, representando um ponto intermediário entre P6 e P1, entre a foz do córrego do Moinho e Castelhana.

A Tabela 18 apresenta as distâncias entre os pontos de monitoramento no rio Coxipó e suas respectivas características.

Tabela 18: Distâncias entre a foz do rio Coxipó e as estações de monitoramento do rio.

Código das Estações	Distância da foz (km)	Descrição da localização
P6	20,50	Trecho não urbanizado, a montante do perímetro urbano.
P4	9,32	Jusante da ETA Tijucal e montante de uma draga, próximo de uma pequena criação de suínos e horta.
P1	2,51	Trecho urbanizado, próximo à foz do rio Coxipó.

Os pontos P2 e P3 são pontos dentro da bacia do córrego do Moinho, onde P2 está localizado a 600 metros do exutório da bacia, permitindo conhecer as características da quali-quantitativa da água lançado no rio Coxipó. O local apresenta poucas edificações, estando às margens da estrada do Moinho. O P3 encontra-se a 5,3 km da foz do córrego do Moinho, localizado em um bairro densamente povoado e a jusante de uma estação de tratamento de esgoto, cujo processo de tratamento é por lagoas de estabilização.

O P5 é um ponto localizado nas proximidades do bairro Tijucal, a jusante da Estação de Tratamento de Esgotos do Tijucal, cujo processo é por lagoas de estabilização, com aproximadamente 660 metros da foz com o rio Coxipó.

5.4.2.1 Obtenção dos Dados Qualitativos

Com o objetivo de avaliar o comportamento hidráulico e das variáveis de qualidade da água no rio Coxipó e nos córregos do Moinho e Castelhana, realizaram-se expedições mensais, nos pontos descritos no item 5.4.1, sendo oito coletas no período chuvoso e cinco no período de estiagem.

A coleta de amostras para determinação dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos, assim como determinação da vazão das águas do rio Coxipó e córrego do Moinho iniciando em abril de 2007 e findando em abril de 2008, contudo

para o córrego do Castelhana as coletas iniciaram a partir de maio de 2007. As coletas tinham início a partir das 07h30min e terminavam por volta das 12h00min.

Os métodos utilizados para a determinação dos parâmetros químicos, físicos e bacteriológicos são descritos na Tabela 19 e se basearam nas recomendações do *Standard Methods for the examinations of water and wastewater APHA-AWWA-WPCF* (2000) 19 edição.

Tabela 19: Métodos utilizados para a determinação dos parâmetros físico, químicos e bacteriológicas

Variável	Método	Equipamentos
Temperatura do Ar (°C)	Eletrométrico	1. HQ 40 d – Hach
Temperatura da Água (°C)	Eletrométrico	1. HQ 40 d – Hach
pH	Eletrométrico	1. HQ 40 d – Hach
Turbidez (UNT)	Nefelométrico	1. Turbidímetro / Polilab / AP-1000 .
OD (mg/L)	Winkler, por modificação de ázida sódica.	1. Titulador 2. Bureta automática
DBO (mg/L)	Winkler-Ázida	1. Bureta Automática 2. Estufa Encubadora – Temperatura de 25 °C
NTK (mg/L)	Macro-Kjeldhal	1. Digestor Buchi – Modelo 426 2. Destilador Buchi - Modelo B – 324 3. Placa agitadora magnética
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Titulométrico c/ destilação preliminar	1. Medidor de pH 2. Destilador Buchi - Modelo B - 324 3. Placa agitadora magnética
Nitrito (mg/L)	Colorimétrico	1. Medidor de pH 2. Sistema de filtração da Millipore 3. Espectrofotômetro Hach – 543nm
Fósforo (mg/L)	Persulfato de Potássio	1. Autoclave (15 a 20 PSI) 2. Balança analítica 3. Placa agitadora magnética 4. Espectrofotômetro DR 2010 – Hach (880nm)
Sólidos Totais (mg/L)	Gravimétrico	1. Cápsulas de porcelana 2. Estufa Fanem 320-SE (103-105°C) 3. Dissecador/Pirex/200mm 4. Balança analítica de precisão de 0,1 mg/Scientech/ As-210
Coliformes Totais e Escherichia Coli (UFC/100mL)	Colilert - (ONPG/MUG)	1. Estufa de Cultura / FANEM/002 2. Seladora Quanti -Tray Sealer modelo 2X 3. Banho Maria /FANEM

Fonte: Adaptado de APHA (1995)

No momento da coleta os frascos eram enxaguados com a amostra três vezes antes de seu enchimento. Foram coletadas amostras simples, nos primeiros 30 cm da superfície da massa d'água, e quando isso não era possível as amostras eram

coletadas na superfície da lâmina d'água, em frasco de polietileno de 2 litros devidamente lavado.

As determinações de pH e temperatura do ar e da água, e afixação do oxigênio eram realizadas em campo.

Para a realização das análises microbiológicas, as amostras eram coletadas em frasco de vidro autoclavável, com capacidade de 250mL contendo solução de tiosulfato de sódio para preservação. As coletas eram efetuadas evitando o contato manual com a água para evitar possíveis contaminações.

Todas as amostras coletadas eram acondicionadas em caixas térmicas ou de isopor refrigeradas e transportadas até o laboratório para realização das análises.

5.4.2.2 *Obtenção dos Dados Quantitativos*

Para subsidiar a avaliação e a modelagem da qualidade da água, fez-se necessária a determinação da vazão, cujas campanhas foram realizadas nos períodos de abril de 2007 a abril de 2008. Desta forma, dos seis pontos existentes, foram instaladas quatro réguas, uma vez que em P1 já existia uma instalada, e em P5 a instalação não foi realizada totalizando cinco réguas. Das Figuras 17 a 21 são apresentadas as imagens das estações fluviométricas utilizadas neste trabalho.



Figura 17: Estação Fluviométrica da Ponte de Ferro – P6



Figura 18: Estação Fluviométrica da Fazenda Rosada – P4



Figura 21 - Estação Fluviométrica do Córrego do Moinho no Bairro Planalto – P3

5.4.3 Metodologia para determinação da vazão

Dos vários métodos existentes para a medição da vazão líquida, foi escolhido o método convencional de medição com molinete hidrométrico, para o rio Coxipó e o método do flutuador para os córregos. Essa diferenciação na metodologia deve-se aos danos causados ao aparelho da presença de esgotos.

A vazão foi determinada pelo produto da área da seção molhada pela velocidade média do escoamento da corrente. A área foi determinada por meio da medição da largura do rio e da profundidade em um número significativo de pontos ao longo da seção, chamados de verticais. Nessas seções também foram realizadas medição da velocidade com o molinete hidrométrico, em número significativo de pontos em diferentes profundidades que possibilitaram o cálculo da velocidade média na vertical. O número de pontos na vertical variam com a profundidade média

do rio, sendo obedecido os valores constantes na Tabela 20, e os espaçamentos entre as verticais são determinados conforme apresentado na Tabela 21.

Tabela 20: Posição do molinete para leitura de velocidade (m/s) em diferentes profundidades (m)

Nº de pontos	Posição na vertical em relação à profundidade "p"	Cálculo da velocidade média na vertical	Profundidade
1	0,6p	$v = v_{0,6}$	0,15 – 0,6
2	0,2 e 0,8p	$v = (v_{0,2} + v_{0,8})/2$	0,6 – 1,2
3	0,2;0,6 e 0,8p	$v = (v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8})/4$	1,2 – 2,0
4	0,2;0,4;0,6;0,8p	$v = (v_{0,2} + 2v_{0,4} + 2v_{0,6} + v_{0,8})/6$	2,0 – 4,0
5	S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8p e F *	$v = [v_s + 2(v_{0,2} + v_{0,4} + v_{0,6} + v_{0,8}) + v_f]/10$	> 4,0

Nota: * S - Superfície; F – Fundo

Tabela 21: Espaçamentos (m) entre as verticais em função da largura (m) do rio.

Largura do rio	Espaço entre verticais	Largura do rio	Espaço entre verticais
3	0,30	50 a 80	4,00
3 a 6	0,50	80 a 150	6,00
6 a 15	1,00	150 a 250	8,00
15 a 30	2,00	250 a 400	12,00
30 a 50	3,00	+ de 400	até 30

A profundidade foi medida com uma régua graduada e a velocidade da corrente da água com um molinete fluviométrico, operado por um guincho fluviométrico, contador de pulsos magnéticos e cronômetro digital.

Uma vez obtido o perfil da profundidade e das velocidades da seção a vazão foi calculada a partir do método da seção média.

No método da seção média, as vazões parciais são calculadas para cada subseção entre verticais. A partir da largura, profundidades e da média das velocidades entre as verticais, calcula-se a vazão em cada subseção, e posteriormente realiza-se o somatório das mesmas em cada uma das subseções de forma a obter a vazão do rio na seção medida.

5.5 DADOS DE ENTRADA NO MODELO

O modelo Qual2K necessita que alguns dados sejam inseridos para que possa realizar as simulações, sendo eles:

- ❑ Coordenadas e coeficientes de descarga nos trechos, distância entre a foz do rio principal e o trecho.
- ❑ Altitude e declividade dos trechos
- ❑ Concentrações de DBO, Oxigênio Dissolvido, Temperatura da água e *Escherichia coli* e vazões nos pontos de coleta e nos trechos.
- ❑ Velocidade e profundidade do rio nos pontos de coleta
- ❑ Coeficientes cinéticos, como o coeficiente de remoção global de DBO, coeficiente de reaeração, taxa de decaimento bacteriano.
- ❑ O modelo necessita que seja inserida a data em que foi realizada a coleta. Para a modelagem da qualidade da água foi feita uma média das concentrações no período chuvoso e de estiagem, obtendo simulações distintas. Assim o mês de coleta inserido no programa corresponde ao mês central do período monitorado, por exemplo, para o período de estiagem, compreendido de maio a setembro, foi considerado o mês de julho como o mês de coleta e inserção no modelo.
- ❑ O método de integração adotado foi o de Euler.

5.6 CALIBRAÇÃO DO MODELO

Foram realizadas simulações com valores de dispersão longitudinal calculadas pelo programa e iguais a zero, sendo que nos dois casos as concentrações de oxigênio, DBO e coliformes não foram afetados, indicando a pouca influência nas simulações.

A calibração do modelo foi iniciada pela DBO uma vez que essa apresenta menos coeficientes cinéticos que para a modelação do oxigênio dissolvido.

5.6.1 Coeficiente de descarga

No Qual2K a hidráulica pode ser modelada de duas maneiras: i) com base nos coeficientes de descarga, originados em medições hidráulicas realizadas no próprio rio; ii) no coeficiente de Manning para a seção trapezoidal.

Barnwell et al. (2004 apud BÁRBARA, 2006) recomendam que o método escolhido seja o primeiro, pois existe uma elevada margem de erro no cálculo decorrente da estimativa do coeficiente de Manning para a seção trapezoidal, o que pode invalidar as respostas obtidas com a modelagem.

Na Tabela 22 são apresentados os coeficientes de descarga obtidos para o rio Coxipó, por meio de ajustes com os dados de campo, em que foi utilizado os coeficientes de descarga obtidos em P6 nos trechos 1, 2, 3, e 4 enquanto os demais trechos foram utilizados os obtidos em P4, uma vez que as medições de vazão em P1 foram descartados por problemas expostos no próximo capítulo.

Tabela 22: Coeficientes de descarga nos trechos para o rio Coxipó

Trecho	Coeficiente de Descarga			
	Velocidade		Profundidade	
	Coeficiente	Expoente	Coeficiente	Expoente
1	0,224	0,43	0,338	0,43
2	0,224	0,43	0,338	0,43
3	0,224	0,43	0,338	0,43
4	0,224	0,43	0,338	0,43
5	0,177	0,43	0,282	0,43
6	0,177	0,43	0,282	0,43
7	0,177	0,43	0,282	0,43
8	0,177	0,43	0,282	0,43
9	0,177	0,43	0,282	0,43
10	0,177	0,43	0,282	0,43

5.6.2 Coeficiente de Reaeração - K_2

O QUAL2K fornece oito opções para o cálculo de K_2 , sendo seis equações preditivas empíricas e semi-empíricas da literatura, e opções para valores medidos ou modelos opcionais.

Existem vários métodos que determinam o coeficiente de reaeração a partir das características hidráulicas dos corpos d'água, dentre os quais são apresentadas as equações mais conhecidas na Tabela 23 e as condições nas quais podem ser aplicadas.

Tabela 23: Equações para determinação de K_2 a 20°C.

Equações	Equação para K_2	Condições	Equações
O'Connor-Dobbins	$K_2 = 3,93 \frac{U^{0,5}}{H^{1,5}}$	** $0,6 \leq H \leq 4\text{m}$ a $0,05 \leq v \leq 0,8\text{m/s}$	(30)
Churchil	$K_2 = 5,026 \frac{U}{H^{1,67}}$	** $0,6 \leq H \leq 4\text{m}$ a $0,05 \leq v \leq 1,5\text{m/s}$	(31)
Owens e Gibbs	$K_2 = 5,32 \frac{U^{0,67}}{H^{1,85}}$	** $0,1 \leq H \leq 0,6\text{m}$ a $0,05 \leq v \leq 1,5\text{m/s}$	(32)
Tsivoglou-Neal (1976)	$k_2 = 31,183 US$	0,0283 a 0,4247 m^3/s	(33)
	$k_2 = 15,308 US$	0,4247 a 84,938 m^3/s	(34)
Thackston-Dawson (2001)	$k_2 = 2.16(1 + 9F^{0.25}) \frac{U^*}{H}$	-	(35)
USGS (Melching; Flores, 1999) Rios com poços e corredeiras	$k_2 = 517(US)^{0.524} Q^{-0.242}$	$Q < 0,556 \text{ m}^3/\text{s}$	(36)
	$k_2 = 596(US)^{0.528} Q^{-0.136}$	$Q > 0,556 \text{ m}^3/\text{s}$	(37)
USGS (Melching; Flores, 1999) Rios com controle de canal	$k_2 = 88(US)^{0.313} H^{-0.353}$	$Q < 0,556 \text{ m}^3/\text{s}$	(38)
	$k_2 = 142(US)^{0.333} H^{-0.66} B_t^{-0.243}$	$Q > 0,556 \text{ m}^3/\text{s}$	(39)

Nota: ** von Sperling (1996).

Em que:

U = corresponde à velocidade do curso d'água (m/s)

H = profundidade média (m)

U^* = velocidade de cisalhamento (m/s)

F = numero de Froude (Adimensional).

Q = vazão (m^3/s)

A reaeração calculada internamente no programa Qual2K é baseado em um esquema desenvolvido por Covar (1976) conforme é apresentado a seguir.

- Se $H < 0,61$ m, usa-se a fórmula Owens-Gibbs;
- Se $H > 0,61$ m e $H > 3,45U^{2,5}$, usa-se a fórmula O'Connor-Dobbins;
- Senão, usa-se a fórmula Churchill;

As fórmulas de O'Connor-Dobbins, Churchill, e Owens-Gibbs foram desenvolvidas para diferentes tipos de rios, conforme é mostrado na Tabela 24, em que a equação de O'Connor-Dobbins é largamente aplicada por ser apropriada para

rios profundos com moderada para baixa velocidade, enquanto a fórmula de Churchill é aplicada para profundidade similar, mas para rios rápidos. Finalmente a Owens-Gibbs relaciona o uso para rios rasos.

Tabela 24: Escala de profundidades e velocidades usadas para desenvolver as fórmulas de reaeração para rios

Parâmetro	O'Connor-Dobbins	Churchill	Owens-Gibbs
Profundidade (m)	0,30 – 9,14	0,61 – 3,35	0,12 – 0,73
Velocidade (m.s ⁻¹)	0,15 – 0,49	0,55 – 1,52	0,03 – 0,55

Fonte: adaptado de von Sperling (2007)

Todas as equações apresentadas na Tabela 23 foram utilizadas para a modelagem da qualidade da água no rio Coxipó, em que foram selecionadas as que apresentavam maiores similaridades entre os dados observados e simulados. A partir dos valores de K_2 que forneceram maior aderência com os dados observados, deu-se continuidade as simulações a partir de aproximações sucessivas, de forma a conseguir menores diferenças entre os dois conjuntos de dados, observados e simulados.

5.6.3 Determinação das contribuições ao longo do percurso no rio Coxipó

Ao longo do percurso, o rio pode receber contribuições de tributários e de lançamento de esgotos, ou captações, que podem contribuir no aumento ou diminuição do volume de água no manancial.

As contribuições de dois córregos, Moinho e Castelhana, foram tratados como fontes pontuais de lançamento. Esses córregos representam importantes áreas de drenagem da bacia do rio Coxipó, representando a poluição a montante, contudo existem algumas áreas que não se dispunha informações quanto à carga de poluentes e vazão de córregos.

As contribuições dos córregos no trecho sem informações foram estimadas a partir de um balanço de fluxo, de forma que os dados de vazão simulados pelo modelo possuíssem aderência com os dados observados e estimados pelo balanço de fluxo. Os resultados do balanço foram inseridos na planilha “*diffuse source*”, como fonte difusa, de forma que houvesse uma distribuição constante ao longo do trecho do rio sem informação.

Para a estimativa da carga difusa lançada diretamente no rio Coxipó, lançou-se mão das informações fornecidas pelo Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano de Cuiabá (CUIABÁ, 2007b), referente aos bairros que possuem coleta e tratamento de esgotos, de um mapa georreferenciado dos bairros do município de Cuiabá, um mapa com a delimitação das bacias do rio Coxipó, Castelhanos e Moinho. Os mapas foram sobrepostos utilizando o programa *ArcView* 3.2.

Uma vez conhecida a poluição gerada pelos córregos do Moinho e Castelhanos, a área restante que não possuía tratamento de esgotos foi utilizada para a estimativa da poluição difusa a ser inserida no modelo (área vermelha da Figura 22). Os bairros que possuíam tratamento (área vermelha hachurada da Figura 22) de esgotos foram desconsiderados para maior simplicidade nos cálculos.

Para estimar a carga de matéria orgânica na bacia, foi calculada a produção de esgotos em função do consumo percapita de água (150 l/dia) para a área vermelha representada na Figura 22. Foi adotada uma DBO média de 300 mg/L, OD igual a 0,0 mg/L, *Escherichia coli* igual a $1,0 \times 10^6$ UFC/100mL, que foram inseridas como fonte difusa. Essas concentrações foram baseadas em valores médios e medianos obtidos na literatura.

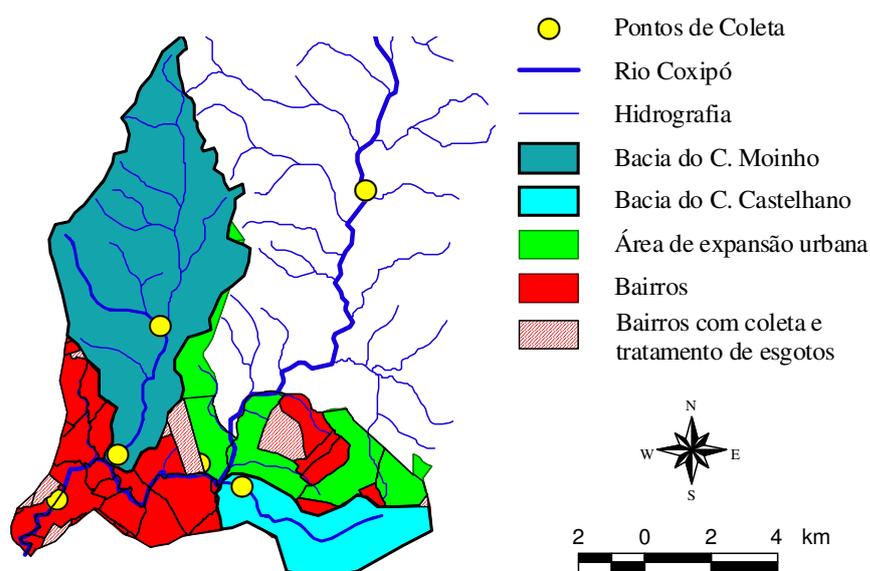


Figura 22: Área de drenagem da bacia do córrego do Moinho e Castelhanos na bacia do rio Coxipó.

5.7 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

A partir do modelo calibrado, foram simulados os cenários descritos a seguir para a bacia do rio Coxipó, de forma a verificar a influência de algumas ações na bacia. Nas Tabelas 25 e 26 são apresentados resumidamente os cenários de qualidade da água simulados para o rio Coxipó.

- ❑ **Cenário 1:** Tratamento da carga difusa com remoção de DBO de 80% e *E. coli* de 90%.
- ❑ **Cenário 2:** Córregos monitorados com características de rios de classe 2.
- ❑ **Cenário 3:** Junção do cenário 1 com o 2;
- ❑ **Cenário 4:** Redução da metade da concentração de DBO e *E. coli* dos córregos e tratamento da carga difusa conforme cenário 1;
- ❑ **Cenário 5:** Redução da metade da concentração de DBO e *E. coli* dos córregos monitorados sem tratamento do esgoto de fonte difusa;
- ❑ **Cenário 6:** População na bacia do rio Coxipó em 2017 de 213.735 habitantes;
- ❑ **Cenário 7:** População na bacia do rio Coxipó em 2027 de 228.469 habitantes;
- ❑ **Cenário 8:** População na bacia do rio Coxipó em 2037 de 234.795 habitantes;

Tabela 25: Resumo das características, físico, químicas e bacteriológicas dos córregos e da poluição difusa, para os diversos cenários no período de estiagem (maio a setembro de 2007).

Cenário	Córrego do Moinho			Córrego Castelhana			Poluição difusa	
	DBO	<i>E. coli</i>	OD	DBO	<i>E. coli</i>	OD	DBO	<i>E. coli</i>
1	78	4E+4	3,4	42,0	3E+5	2,2	60	1E+5
2	5	1E+3	5,0	5,0	1E+3	5,0	300	1E+6
3	5	1E+3	5,0	5,0	1E+3	5,0	60	1E+5
4	25	2E+4	3,4	16,0	1E+5	2,2	60	1E+5
5	25	2E+4	3,4	2,5	1E+5	2,2	300	1E+6

Tabela 26: Resumo das características, físico, químicas e bacteriológicas dos córregos e da poluição difusa, para os diversos cenários no período chuvoso (abril de 2007, outubro a dezembro de 2007).

Cenário	Córrego do Moinho			Córrego Castelhana			Poluição difusa	
	DBO	<i>E. coli</i>	OD	DBO	<i>E. coli</i>	OD	DBO	<i>E. coli</i>
1	15,4	2E+4	5,4	24,9	7E+5	4,1	60	1E+5
2	5,0	1E+3	5,0	5,0	1E+3	5,0	300	1E+6
3	5,0	1E+3	5,0	5,0	1E+3	5,0	60	1E+5
4	7,7	1E+4	5,4	12,5	4E+5	4,1	60	1E+5
5	7,7	1E+4	5,4	2,5	4E+5	4,1	300	1E+6

5.7.1 Estimativa populacional

Para obter as populações futuras fez-se uma pesquisa entre as várias metodologias para a previsão de população, e dentre elas fez-se a opção de usar metodologia similar à sugerida por Gomes (2004), que se baseia em ajustar curvas a partir dos dados dos censos realizados pelo IBGE.

Foram testadas as equações: linear, polinomial, exponencial, logarítima e potência. Em que a equação polinomial foi que mais se aproximou dos dados observados.

A partir da população projetada para o município foram extrapolados para a população da bacia do rio Coxipó, e são apresentadas na Tabela 27.

Tabela 27: Estimativa populacional para o município de Cuiabá

Ano	Pop. Cuiabá*	Potência	Polinomial	Linear	Exponencial	Logarítmica
1960	57.860
1970	100.865	102.132	89.449	109.232	122.916	71.738
1980	212.984	221.243	241.753	230.592	193.544	270.267
1991	402.813	360.685	382.025	364.088	318.908	395.790
1996	433.355	426.138	436.343	424.768	400.176	438.619
2000	483.346	479.268	475.549	473.312	479.864	468.796
2007	526.830	573.700	535.072	558.264	659.382	514.986

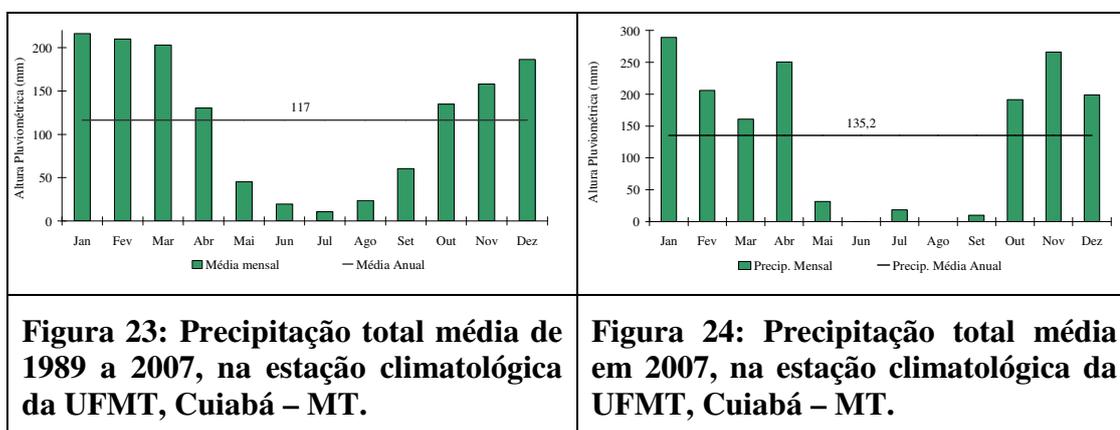
Fonte: * Cuiabá (2007b)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

6.1.1 Dados pluviométricos

Na Figura 23 é apresentada a variação anual da precipitação total média mensal nos anos de 1989 a 2007, enquanto a Figura 24 apresenta a variação da precipitação total mensal em 2007. Ambas as medições foram realizadas na estação Climatológica da Universidade Federal de Mato Grosso, nomeada Estação Mestre Bombleb, localizada no campus e operada pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.



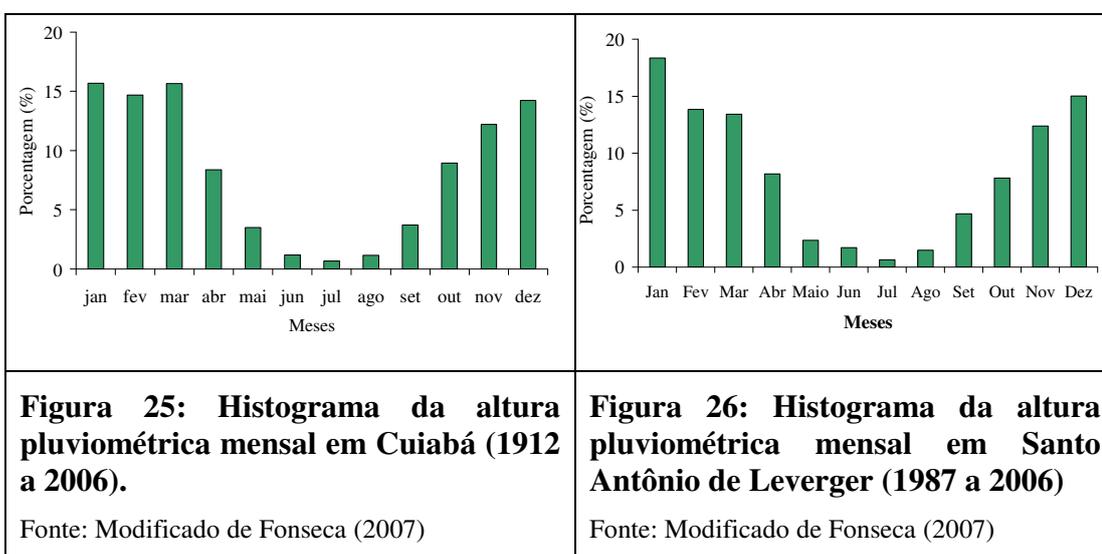
A precipitação média em 2007 foi maior que a média histórica (Figura 23 e Figura 24), onde o período de maio a setembro foram os meses que apresentaram precipitação abaixo dos valores médios anuais, caracterizando o período de estiagem.

É importante ressaltar que no período de estiagem de 2007, foram observadas as menores alturas pluviométricas quando comparada à série história.

No período mais chuvoso de 2007, a precipitação total mensal variou de 160 a 289 mm, e no período menos chuvoso variou de 0,3 a 31,6 mm.

A precipitação total anual, para a série histórica variou de 1029 a 1933 mm com média de 1398 mm, para a estação climatológica da UFMT. As precipitações médias foram próximas aos obtidos por Almeida Filho (2003) que citou os boletins do Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura (INMET, 2001). O autor obteve precipitação média anual da região oscilando em torno de 1.350 mm, sendo janeiro e março os meses que apresentam os maiores índices pluviométricos, oscilando entre 1.000 e 1.500 mm, contrapondo a quase nulidade de precipitação na seca.

Fonseca (2007) analisou a altura pluviométrica de Cuiabá e Santo Antônio do Leverger, por meio de dados obtidos na estação meteorológica do 9º do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre 1912 a 2006, e da Estação Climatológica da Fazenda Experimental da UFMT entre 1987 a 2006. O autor observou que as séries foram bastante regulares, com quatro a cinco meses de seca, sendo definido duas estações: seca e chuvosa. Na Figura 25 e Figura 26 apresentadas por Fonseca (2007), cerca de 80% das alturas pluviométricas ocorridas durante o ano estão concentradas entre novembro a março, sendo janeiro e março os meses com as maiores alturas pluviométricas (15,6%) e julho com índice menor que 1%, caracterizando dois períodos: um chuvoso (de outubro a abril) e outro seco (maio a setembro).



O histograma da altura pluviométrica mensal na Estação climatológica da UFMT (Figura 27) apresenta o mesmo comportamento do histograma da altura pluviométrica mensal em Cuiabá (Figura 25), apresentado por Fonseca (2007), em que os meses de maio a setembro contribuem com 11% da precipitação anual.

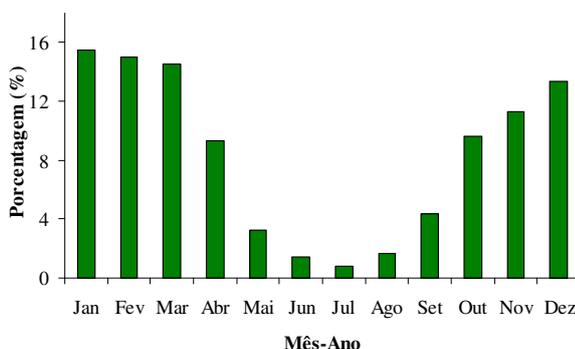


Figura 27: Histograma da altura pluviométrica mensal (1989 a 2007), para a estação climatológica da UFMT.

A partir do exposto foi definido neste estudo, como período de estiagem de maio a setembro e o período chuvoso de outubro a abril, conforme descrito pela ANA (2006), para a região hidrográfica do Paraguai, e Fonseca (2007), diferentemente do período utilizado por Lima (2001), Lima (2002), Rocha (2003).

6.1.2 Caracterização hidráulica

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados da variação das vazões, e os valores médios de velocidades, profundidades, larguras e áreas das seções transversais médias dos pontos de coleta, durante o período de monitoramento.

6.1.2.1 Vazão

6.1.2.1.1 Rio Coxipó

Observou-se que em seis dos oito dados, o P4 apresentou valores superiores a P1 (Figura 28) que se localiza a jusante, o que pode ser decorrente do fato do rio Cuiabá possivelmente ter apresentado níveis d'água superiores ao rio Coxipó, fazendo com que a velocidade ficasse reduzida, influenciando diretamente na medição. A partir do exposto, a vazão em P1 foi calculada a partir do somatório das

vazões de P4 e P2, resultando na Figura 29, que apresenta a variação das vazões durante o período de monitoramento nos pontos de coleta, assim como as alturas pluviométricas mensais no eixo secundário do gráfico.

Ressalta-se que durante os meses de dezembro de 2007 a abril de 2008, a estação P1 apresentou-se afogada, enquanto a estação P6 esteve com sua seção extravasada, impossibilitando as medições de vazão nos referidos pontos.

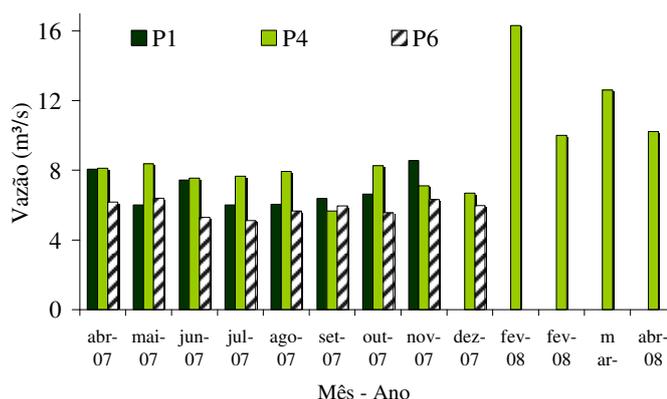


Figura 28: Variação da vazão no rio Coxipó entre abril de 2007 a abril de 2008, para as estações de monitoramento.

Nota: Não houve medição de vazão em P1 e P6 no período de dezembro de 2007 a abril de 2008.

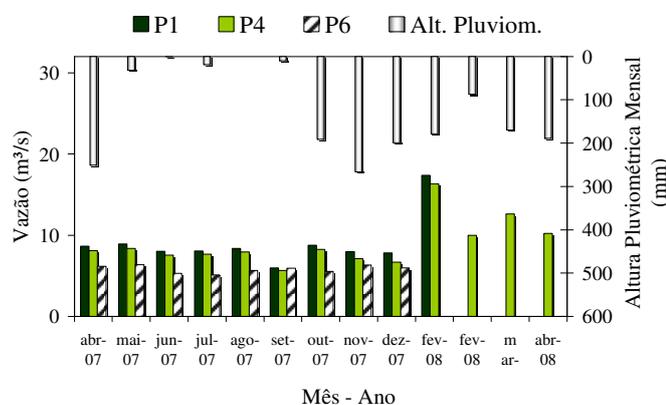


Figura 29: Variação da vazão no rio Coxipó nas estações de monitoramento e variação da altura pluviométrica mensal, entre abril de 2007 a abril de 2008.

6.1.2.1.2 Córregos do Moinho e Castelhanos

Os dois tributários do rio Coxipó (Figura 30, Figura 31) apresentaram vazões inferiores ao rio Coxipó, durante todo o período de monitoramento, com elevações nas vazões no período chuvoso.

Do ponto de vista de qualidade da água, os aumentos de vazões podem ter um caráter benéfico, pois pode haver uma maior diluição dos poluentes, contudo, o aumento das chuvas pode implicar também no aumento do carreamento de sólidos para o leito dos mananciais, assoreando os rios e córregos.

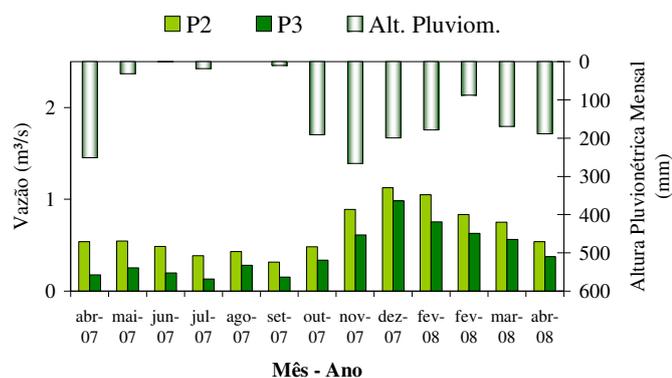


Figura 30: Variação da vazão no córrego do Moinho (P2 e P3) e da altura pluviométrica mensal, entre abril de 2007 a abril de 2008.

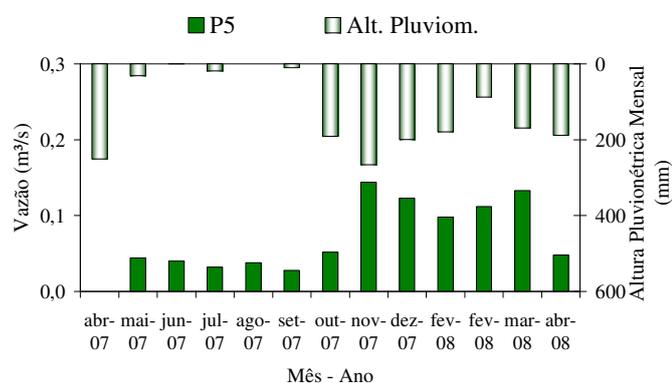


Figura 31: Variação da vazão no córrego do Moinho (P2 e P3) e da altura pluviométrica mensal, entre abril de 2007 a abril de 2008.

6.1.2.2 Velocidade, profundidade, largura e área da seção transversal.

Na Tabela 28 são apresentadas as características hidráulicas para os pontos de monitoramento, em que a velocidade da água foi maior em P1, quando comparado a P4 e P6, com maior velocidade no período chuvoso quando comparado ao período de estiagem, para todas as seções de medição.

O rio Coxipó apresentou maiores profundidades em P6, com diminuição da profundidade de montante para jusante e aumento da largura do rio na mesma direção.

A maior área de seção transversal foi obtida para P4, onde se verificaram as maiores vazões medidas, em face aos problemas apresentados e discutidos no item anterior, para a estação fluviométrica em P1.

Assim como ocorrido para o rio Coxipó, o córrego do Moinho obteve maior largura em P2 que em P3, assim como observado para as variáveis profundidade, área e velocidade.

Tabela 28: Características hidráulicas dos pontos de monitoramento, no período de estiagem e chuvoso.

Variável	Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Vazão (m ³ /s)	Estiagem	*	0,430	0,200	7,440	0,040	5,680
	Chuva	*	0,776	0,555	9,917	0,101	5,905
Velocidade (m/s)	Estiagem	0,500	0,260	0,410	0,420	0,080	0,460
	Chuva	0,586	0,416	0,567	0,474	0,132	0,491
Profundidade (m)	Estiagem	0,510	0,160	0,170	0,650	0,300	0,730
	Chuva	0,508	0,180	0,328	0,747	0,497	0,708
Largura (m)	Estiagem	25,600	19,100	2,780	27,180	1,500	17,000
	Chuva	26,000	11,425	2,848	27,613	1,500	17,000
Área (m ²)	Estiagem	13,190	1,670	0,490	17,170	0,450	12,330
	Chuva	13,213	2,004	0,964	20,618	0,745	12,035

Nota: * as vazões em P1 foram estimadas, por isso não são apresentadas nesta tabela.

6.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS CÓRREGOS

As discussões a seguir dizem respeito a dois afluentes monitorados do rio Coxipó. Dois pontos estão no Córrego do Moinho (P2 e P3) e outro no Córrego Castelhana (P5) conforme já mencionado na metodologia.

6.2.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

No córrego do Moinho, os valores de pH foram superiores no período de estiagem, com pouca diferença entre P2 e P3 (Figura 32). Salienta-se que neste período, o córrego apresentava coloração esverdeada indicando a presença de algas, que pode ter refletido nos valores de pH, uma vez que a biota aquática exerce influência marcante sobre essa variável, consumindo o CO₂ pelo processo fotossintético e elevando o pH do meio (MORAES, 2001 apud SANTOS, 2006).

As diminuição de pH no período chuvoso também pode ser decorrente da ação das chuvas, que além de seu conteúdo em CO₂, podem conduzir para o leito dos rios grande quantidade de materiais orgânicos e inorgânicos, com considerável conteúdo iônico tendendo a alterar os valores de pH (LIMA, 2002). Essas águas ao percolarem os solos de área de drenagem se tornam ricas em dióxido de carbono e enriquecem o ambiente em íons H⁺ (ALLAN, 1995; WETZEL, 1975 apud LIMA, 2002).

Em P5 foram observados valores medianos maiores no período chuvoso (Tabela 29), salientando que o mesmo encontra-se a jusante da ETE Tijucal, cujo sistema de tratamento é por lagoas de estabilização. Este sistema de tratamento possui elevada presença de algas no efluente final com pH entre 7,5 a 8,7 conforme apresentado por Moraes (2006).

Os resultados obtidos nos córregos mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº. 357/2005 para rios de classe 2, com valores tendendo a basicidade.

Salienta-se que no Estado de Mato Grosso os rios são considerados pelo órgão ambiental como rios de classe 2, uma vez que o Estado ainda não procedeu ao enquadramento dos recursos hídricos.

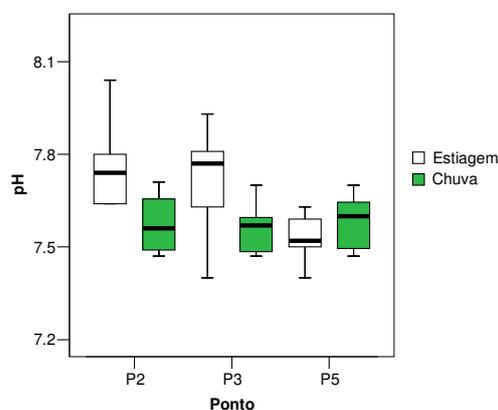


Figura 32: valores de pH em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.

Tabela 29: Estatística descritiva de pH nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº.de dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº.de dados
P2	7,3	8,0	-	7,7	0,3	5	6,2	7,9	-	7,6	0,5	8
P3	7,4	7,9	-	7,8	0,2	5	7,0	7,7	-	7,6	0,2	7
P5	7,4	7,6	-	7,5	0,1	5	7,5	7,7	-	7,6	0,1	7

6.2.2 Turbidez

Os teores de turbidez em P3 mantiveram-se superiores a P2, nos dois períodos avaliados (Figura 33, Tabela 30), que pode estar relacionado à densidade populacional que é mais elevada a montante de P3 do que em P2, conforme apresentado na Figura 34.

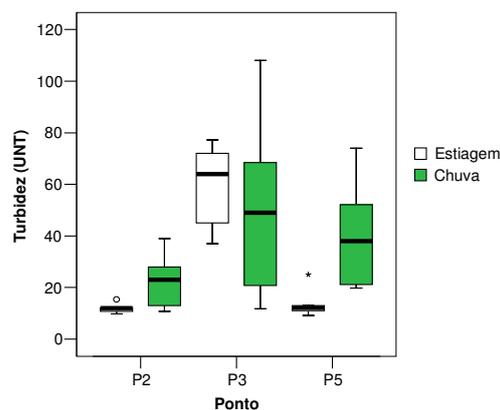


Figura 33: Concentrações de Turbidez em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.

Tabela 30: Estatística descritiva de turbidez (UNT) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. de dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. de dados
P2	10	15	12	12	2	5	11	39	22	23	10	7
P3	37	77	59	64	17	5	12	108	50	49	33	8
P5	9	25	14	12	6	5	20	74	40	38	21	7

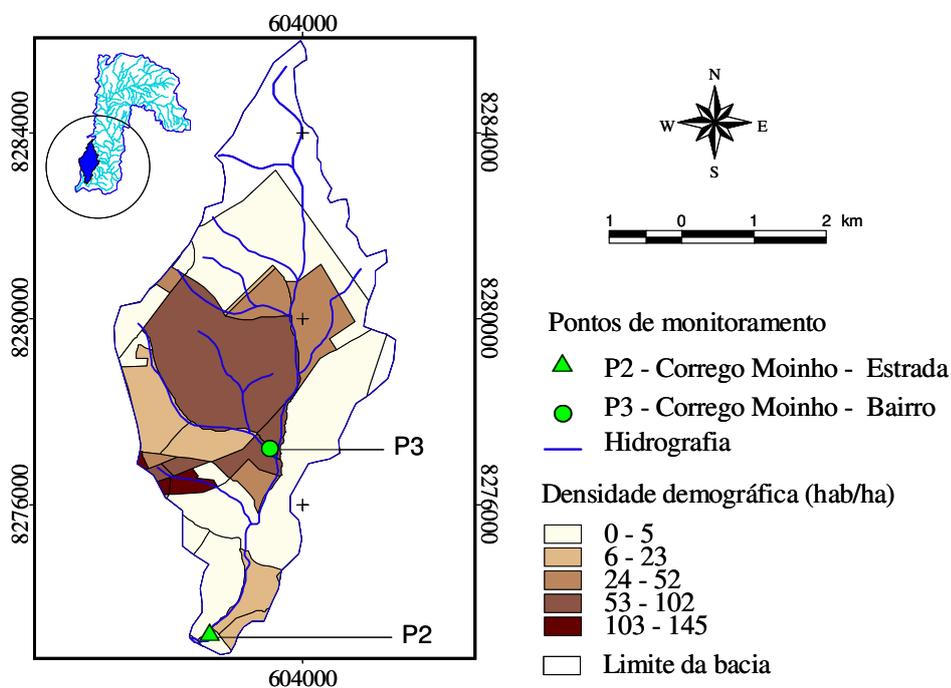


Figura 34: Densidade demográfica (hab/ha) na bacia do Córrego do Moinho.

Os pontos P2 e P5 apresentam maior turbidez no período de estiagem, onde o fenômeno inverso ocorreu para P3.

As elevações de turbidez podem ser decorrentes do arraste de sólidos da área de drenagem e das margens, assim como desprendimento de lodo de fundo muito presente nos referidos córregos, em períodos chuvosos.

Os resultados obtidos para os córregos mantiveram-se em geral abaixo do limite máximo preconizado pela legislação vigente (100 UNT).

6.2.3 Sólidos Totais e Sólidos Totais Suspensos

O P2 apresenta concentração de sólidos totais (Tabela 31) e em suspensão (Tabela 32) inferiores aos encontrados em P3, fenômeno similar ao ocorrido para a variável turbidez, no córrego do Moinho, o que é reflexo da pouca urbanização entre os dois pontos.

Os sólidos totais e em suspensão apresentaram menores concentrações no período chuvoso, proporcionando melhor qualidade em relação a estas variáveis, sendo que este fenômeno pode estar relacionado com o efeito de diluição proporcionado pela chuva.

Os córregos Moinho e Castelhana podem ser classificados no período de estiagem como um esgoto fraco, pois apresentam concentrações de Sólidos Totais superiores a 200mg/L (JORDÃO e PESSÔA, 1975).

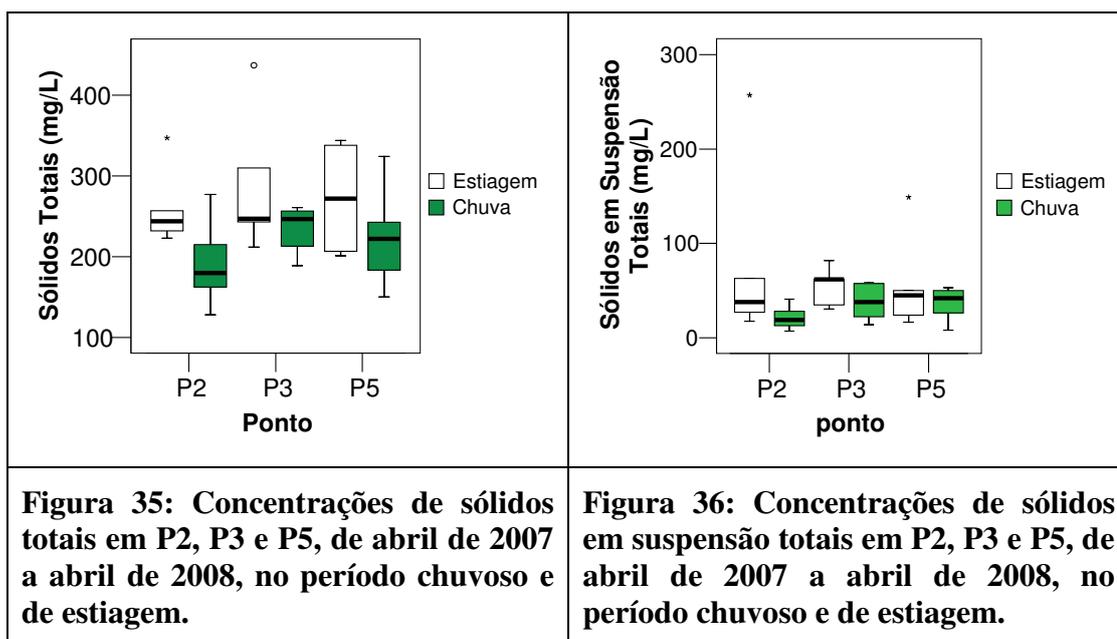


Tabela 31: Estatística descritiva de sólidos totais (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem					N°.de dados	Chuva					N°. De dados
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP		Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	
P2	223	347	261	244	50	5	128	277	190	180	46	8
P3	212	437	290	247	90	5	189	261	240	247	27	8
P5	201	344	272	272	76	4	150	324	221	222	61	7

Tabela 32: Estatística descritiva de sólidos em suspensão totais (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem					N°. de dados	Chuva					N°. de dados
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP		Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	
P2	18	257	80	38	100	5	7	41	21	19	11	8
P3	31	82	54	62	21	5	14	58	39	38	18	8
P5	17	149	57	45	53	5	8	53	37	42	18	7

6.2.4 Temperatura

A temperatura do ar (Figura 37) e da água (Figura 38) foram superiores no período chuvoso, com pouca variação entre os pontos de amostragem, e mantendo-se abaixo do limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA n°357/2005, para rios de classe2.

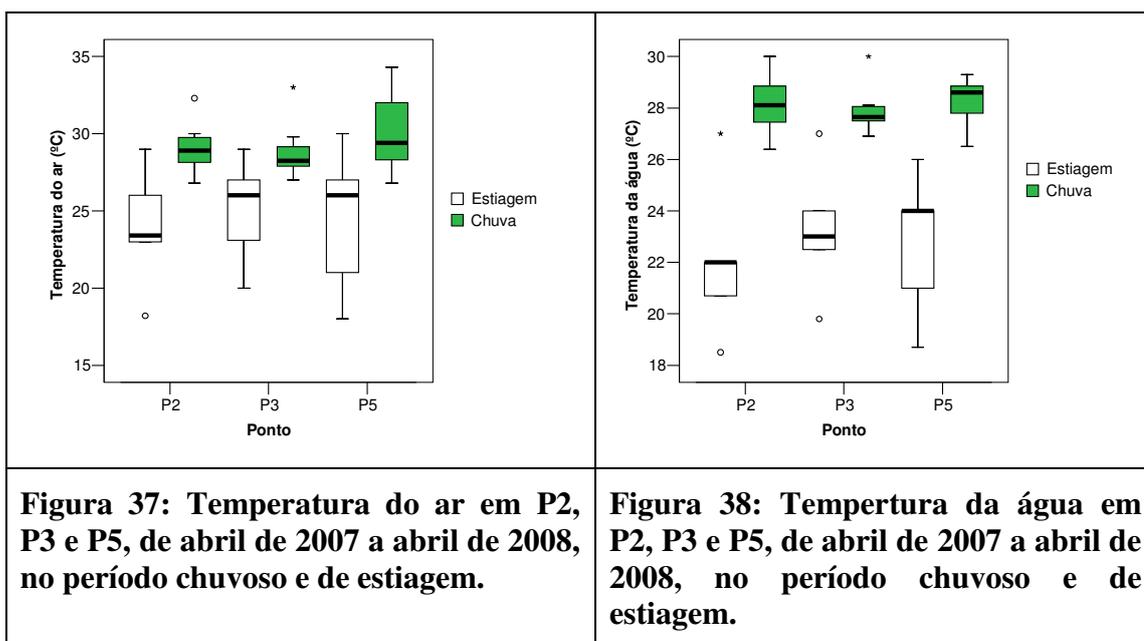


Tabela 33: Estatística descritiva da temperatura do ar (°C) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. De dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. De dados
P2	18	29	24	23	4	5	27	32	29	29	2	8
P3	20	29	25	26	4	5	27	33	29	28	2	8
P5	18	30	24	26	5	5	27	34	30	29	3	7

Tabela 34: Estatística descritiva da temperatura da água (°C) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. De dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. De dados
P2	19	27	22	22	3	5	26	30	28	28	1	8
P3	20	27	23	23	3	5	27	30	28	28	1	8
P5	19	26	23	24	3	5	27	29	28	29	1	7

6.2.5 Demanda bioquímica (DBO) e química (DQO) de oxigênio

As concentrações de DBO em todos os córregos foram menores no período de chuva (Figura 40) e pode ter sido decorrente do fator diluição proporcionado pelas precipitações pluviométricas, contudo a mesma afirmação não pode ser feita para a variável DQO devido ao reduzido tamanho da amostra.

Para a variável DBO (Tabela 35) houve uma diminuição no sentido de montante para jusante. Salienta-se que a jusante de P3 ocorre uma menor densidade demográfica que a montante, e ainda apresenta uma área vegetada entre os pontos, o que pode favorecer o processo de autodepuração do manancial.

Essas elevações nas concentrações de DBO em P3 podem ter sido provocados por despejos de origem predominantemente orgânica, que pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Elevados valores da DBO pode indicar também um incremento da micro-flora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis conforme cita Santos (2006).

De forma geral, as concentrações de DBO foram maiores que o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para rios de classe 2, em todos os pontos de amostragem nos córregos.

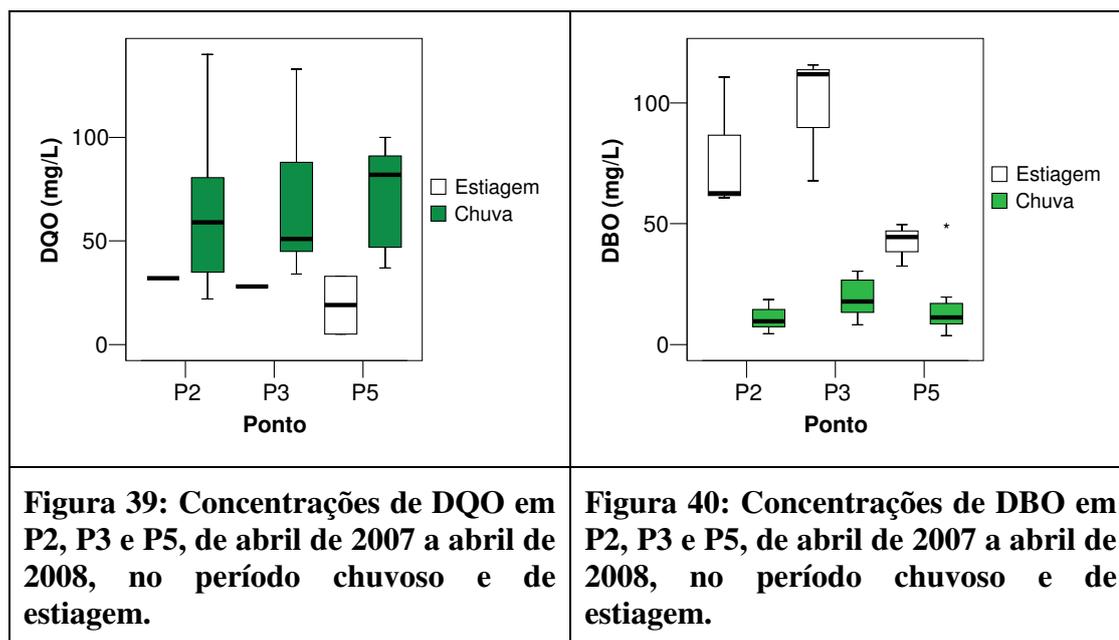


Tabela 35: Estatística descritiva da DQO (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem					Nº. de dados	Chuva					Nº. de dados
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP		Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	
P2	32	32	32	32	-	1	22	140	65	59	41	7
P3	28	28	28	28	-	1	34	133	69	51	36	7
P5	5	33	19	19	13	2	37	100	71	82	26	7

Tabela 36: Estatística descritiva da DBO (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem					Nº. de dados	Chuva					Nº. de dados
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP		Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	
P2	61	111	78	63	28	3	4	19	11	10	6	7
P3	68	116	98	112	27	3	8	30	19	18	9	7
P5	32	50	42	44	9	3	4	49	16	11	15	7

6.2.6 Oxigênio Dissolvido

As concentrações de oxigênio dissolvido foram maiores no período chuvoso (Figura 41) para todos os pontos amostrados. Essa elevação nos níveis de oxigênio dissolvido pode ser decorrente do fator diluição no período chuvoso, que resultou na diminuição das concentrações de DBO.

Salienta-se que as elevadas temperaturas da água no período chuvoso são favoráveis a depleção da concentração de oxigênio dissolvido, pois diminuem a solubilidade do gás na água, contudo parecem não ter sido maiores que o fator diluição.

As concentrações de oxigênio dissolvido foram maiores em P2 do que em P3 podendo ser decorrente do maior adensamento populacional existente a montante de P3, conforme já fora discutido para o item turbidez. Na Figura 42 é apresentada uma imagem do satélite Cibers de 2007, onde se verifica que a área jusante de P3 possui maior área vegetada e menor concentração de residências do que a montante. Essa característica entre P2 e P3 é favorável, pois resulta em um menor número de fontes pontuais de esgotos podendo contribuir com a melhoria dos níveis de oxigênio dissolvido.

Salienta-se que P2 (Figura 41) apresentou menor variação que os demais pontos, apresentando maior estabilidade que os demais pontos.

De forma geral, as concentrações de oxigênio dissolvido mantiveram-se abaixo do mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 2. Esses baixos valores de oxigênio dissolvido são resultados de lançamentos de esgotos nos córregos, onde as bactérias utilizam o oxigênio disponível na água para sua respiração, resultando em baixos níveis deste parâmetro na água.

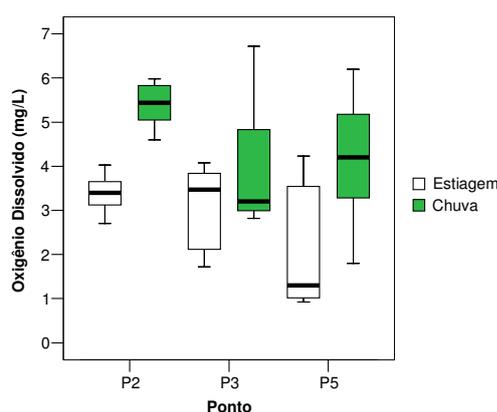


Figura 41: Concentrações de oxigênio dissolvido em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.

Tabela 37: Estatística descritiva de oxigênio dissolvido (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. De dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. De dados
P2	2,70	4,03	3,38	3,40	0,5	5	4,60	5,98	5,40	5,44	0,49	8
P3	1,72	4,08	3,05	3,47	1,1	5	0,00	6,72	3,65	3,20	2,12	7
P5	0,92	4,23	2,20	1,30	1,6	5	1,80	6,20	4,16	4,20	1,62	7

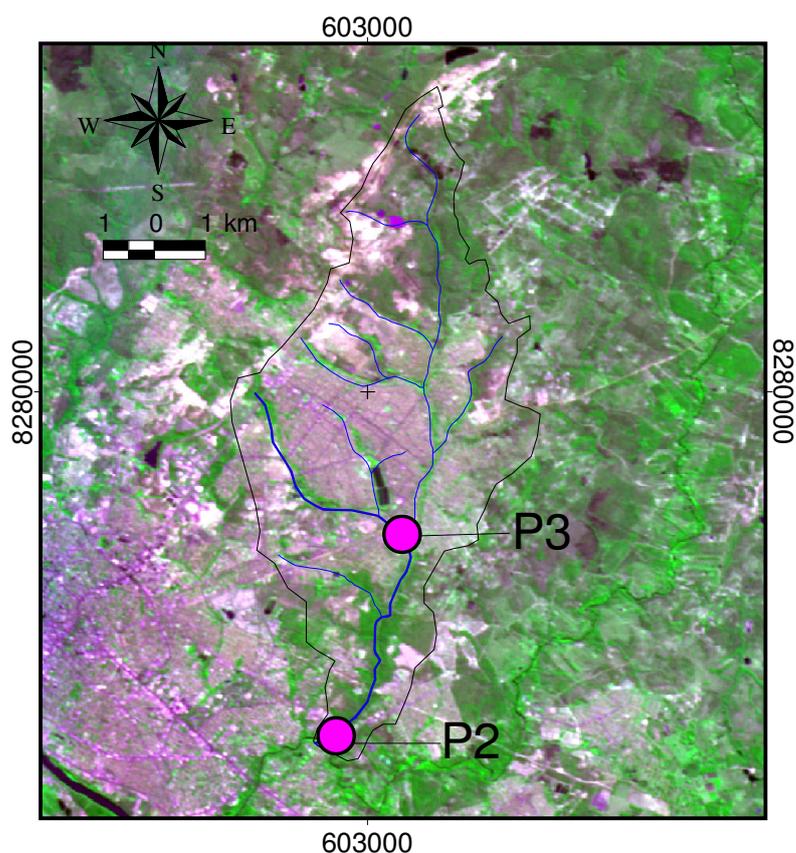


Figura 42: Imagem do satélite Cibers (09/08/2007) da bacia do Córrego do Moinho.

Nota: Base de Dados - SEMA/MT - Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso.

6.2.7 Nitrogênio Total Kjeldhal, Nitrogênio Amoniacal e Nitrito

As concentrações de NTK (Figura 43) e nitrogênio amoniacal (Figura 44) foram maiores no período de estiagem nos pontos de amostragem, que provavelmente ocorreu pelo aumento da diluição dos esgotos. Observa-se também, que o córrego Castelhana foi o que sofreu menor influência das chuvas para estas variáveis, apresentando menor amplitude.

Para variável nitrito só foi possível à realização de uma coleta no período de estiagem, impossibilitando comparar o seu comportamento com o período chuvoso, contudo, verificou-se maior amplitude em P2 (Figura 45) do que em P3.

Em 83% das coletas realizadas as concentrações de nitrito de P2 foram superiores a P3. Sendo que o mesmo fenômeno não foi observado para a variável NTK e nitrogênio amoniacal, podendo indicar a presença de autodepuração da água no córrego do moinho no trecho avaliado.

As concentrações nitrito mantiveram-se acima do valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05, para rios de classe 2, para os três pontos de amostragem. Salienta-se que a referida resolução não possui limites máximos para as concentrações de nitrogênio total, tampouco existe legislação estadual para tal.

A Resolução CONAMA nº 357/05 fixa as concentrações máxima de nitrogênio amoniacal em função dos valores de pH, pois conforme relata Esteves (1998), altas concentrações do íon amônio podem ter grandes implicações ecológicas, pois em pH básico o íon amônio se transforma em amônia livre (NH_3 livre, gasoso), que dependendo de sua concentração pode ser tóxicas para estes organismos. Concentrações de 0,25 mg/L ou superiores a essa, afetam o crescimento dos peixes, embora a concentração letal (matando 50% dos indivíduos) seja consideravelmente superior a 0,5 mg/L. Em condições naturais a concentração de amônia atinge muito raramente, níveis letais. Para atingir estes níveis devem ocorrer simultaneamente elevados valores de pH (> 9,0), temperatura (> 26°C) e baixos valores de potencial de oxidorredução (TRUSSEL, 1972 apud ESTEVES, 1998).

Elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal pode influenciar fortemente a dinâmica do oxigênio dissolvido do meio, uma vez que para oxidar 1 mg do íon amônio (devido a nitrificação) são necessários aproximadamente 4,3mg de oxigênio, e influenciando assim a comunidade de peixes (ESTEVES, 1998).

Neste contexto, salienta-se ainda que na coleta realizada no mês de setembro foram observadas peixes mortos em P3 e no mês de novembro peixes vivos em P2. Ressalta-se que no mês de setembro as concentrações de nitrogênio amociacal foram superiores ao estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, com fenômeno inverso obtido no mês de novembro, o que pode ter refletido na presença de peixes vivos e mortos, neste ponto do córrego do Moinho.

Ressalta-se ainda que P2, P3 e P5 permaneceram em 45%, 82% e 36% das coletas, respectivamente com as concentrações de nitrogênio amoniacal acima dos limites máximos estabelecidos pela referida resolução. Observando ainda que P3 é o ponto mais comprometido relacionado a este parâmetro.

Observa-se também que as concentrações de nitrogênio de forma geral foram superiores aos resultados obtidos no rio Coxipó, representando um incremento importante da concentração desse nutriente no manancial.

As elevadas concentrações de nitrogênio nos córregos podem ter sido proveniente do lançamento de esgotos, uma vez que a bacia apresenta elevada densidade populacional e alguns bairros não possuem em parte ou totalmente sistemas de coleta e tratamento de esgotos sendo eles: Jardim Universitário, Cachoeira das Garças, parte do CPA, Paraíso, Jardim Itália, São Roque, Morada dos Nobres, Morada dos Nobres, Jordão, Santa Cruz, Jardim Eldorado, Sol Nascente, Residencial Itamaraty, Primeiro de Março, Bela Vista, Carumbé, Planalto, Novo Horizonte (CUIABÁ, 2007d).

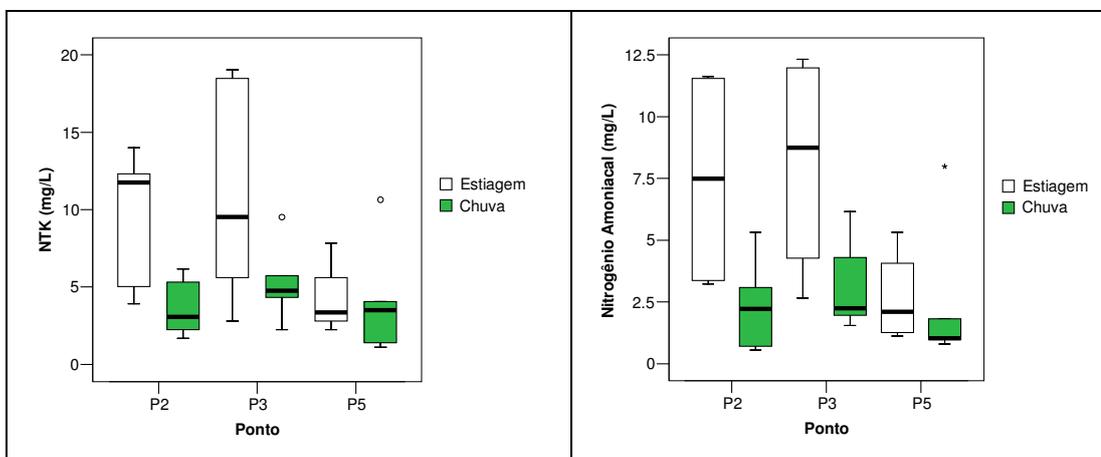


Figura 43: Concentrações de NTK nos pontos P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.

Figura 44: Concentrações de nitrogênio amoniacal nos pontos P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.

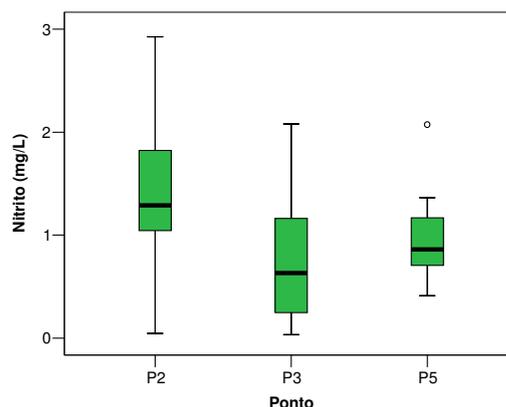


Figura 45: Concentrações de Nitrito em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.

Tabela 38: Estatística descritiva de NTK (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. De dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. De dados
P2	3,9	14,0	9,4	11,8	4,6	5	0,14	8,68	4,02	3,36	2,90	7
P3	2,8	19,0	11,1	9,5	7,4	5	1,12	13,30	5,90	5,04	4	7
P5	2,2	7,8	4,4	3,4	2,3	5	0,84	10,64	4,24	3,64	4	7

Tabela 39: Estatística descritiva de Nitrogênio amoniacal (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. De dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. De dados
P2	3,2	11,6	7,5	7,5	4,7	4	0,55	5,32	2,25	1,68	1,6	7
P3	2,7	12,3	8,1	8,8	4,6	4	1,55	6,16	2,96	2,24	2,0	7
P5	1,1	5,3	2,7	2,1	1,9	4	0,80	7,98	2,43	1,08	3,0	7

Tabela 40: Estatística descritiva de Nitrito (mg/L) nos pontos de amostragem, no período chuvoso

Pontos	Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	Nº.de dados	DP
P2	1,03	2,93	1,84	1,81	0,8	7
P3	0,03	2,08	0,96	0,70	0,8	7
P5	0,41	2,07	0,97	0,71	0,6	7

6.2.8 Fósforo Total

As concentrações de fósforo no Córrego do Moinho em 85% das coletas, foram maiores em P3 do que em P2 (Figura 46), assim como ocorreu com outras

variáveis já discutidas, fenômeno que pode ser devido ao processo de autodepuração ou a sedimentação desse nutriente.

As concentrações diminuíram no período chuvoso em P2 e P5, e aumentaram em P3 (Tabela 41), apresentando comportamentos diferenciados frente à precipitação pluviométrica.

Em todas as coletas, as concentrações de fósforo mantiveram-se acima do valor máximo estabelecido (0,05 mg/L) para ambiente lóticos, pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para rios de classe 2, e podem ter sido provenientes de lançamentos de esgotos domésticos.

Os córregos avaliados possuem principalmente no período de estiagem uma coloração esverdeada, típica de ambientes com grande presença algal, que pode ser decorrente da excessiva presença de fósforo, pois em elevadas concentrações pode contribuir da mesma forma que o nitrogênio, para a proliferação de algas e acelerar, indesejavelmente, em determinadas condições, o processo de eutrofização. Por outro lado, o fósforo é um nutriente fundamental para o crescimento e multiplicação das bactérias responsáveis pelos mecanismos bioquímicos de estabilização da matéria orgânica (SANTOS, 2006).

A partir das concentrações de fósforo obtidas, as águas desses córregos já não possuem características de águas naturais, pois conforme apresenta Esteves (1998 apud MACHADO, 2006) as concentrações de fósforo apresentam-se fora da faixa de 0,01 a 0,05 P-mg L⁻¹, comum em águas naturais.

As concentrações apresentam-se também fora dos valores limites estabelecidos por Dvuk (1999 apud MACHADO, 2006), onde para rios de correnteza baixa, os teores críticos de fósforo para iniciar o processo de eutrofização estariam no intervalo de 0,1 a 0,2 P-mg L L⁻¹ e para rios de correnteza alta as concentrações não deveriam ultrapassar o valor limite de 0,3 P-mg L L⁻¹.

De maneira geral os resultados obtidos nos córregos mantiveram-se acima dos valores observados para o rio Coxipó.

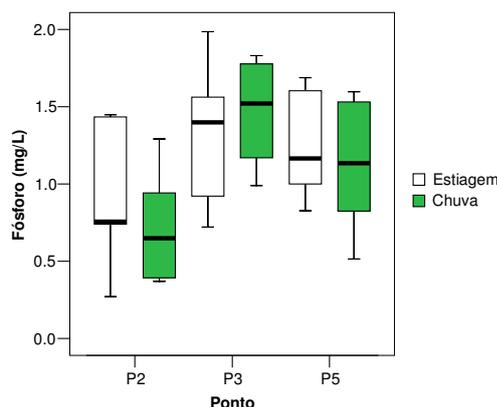


Figura 46: Concentrações de fósforo em P2, P3 e P5, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.

Tabela 41: Estatística descritiva de fósforo (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. De dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. De dados
P2	0,27	1,45	0,93	0,76	0,5	5	0,37	1,29	0,70	0,65	0,36	8
P3	0,72	1,99	1,32	1,40	0,5	5	0,99	1,83	1,47	1,52	0,35	8
P5	0,83	1,69	1,26	1,17	0,4	5	0,51	1,60	1,14	1,13	0,46	7

6.2.9 Coliformes Totais e *Escherichia coli*

As concentrações de coliformes totais e *E. coli* (Figura 47, Figura 48, Tabela 42, Tabela 43) foram maiores em P3 que em P2, que pode ter sido decorrente do fenômeno de autodepuração presente no córrego do Moinho. As elevadas concentrações de coliformes são oriundos dos lançamentos de esgotos domésticos na bacia.

Observa-se que P3 e P5 (Figura 48) possuem concentrações maiores no período chuvoso.

Os valores observados sempre se mantiveram acima do valor máximo (1000 UFC/100mL) permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 2, e acima dos valores observados para o rio Coxipó, representando uma contribuição importante para o rio principal.

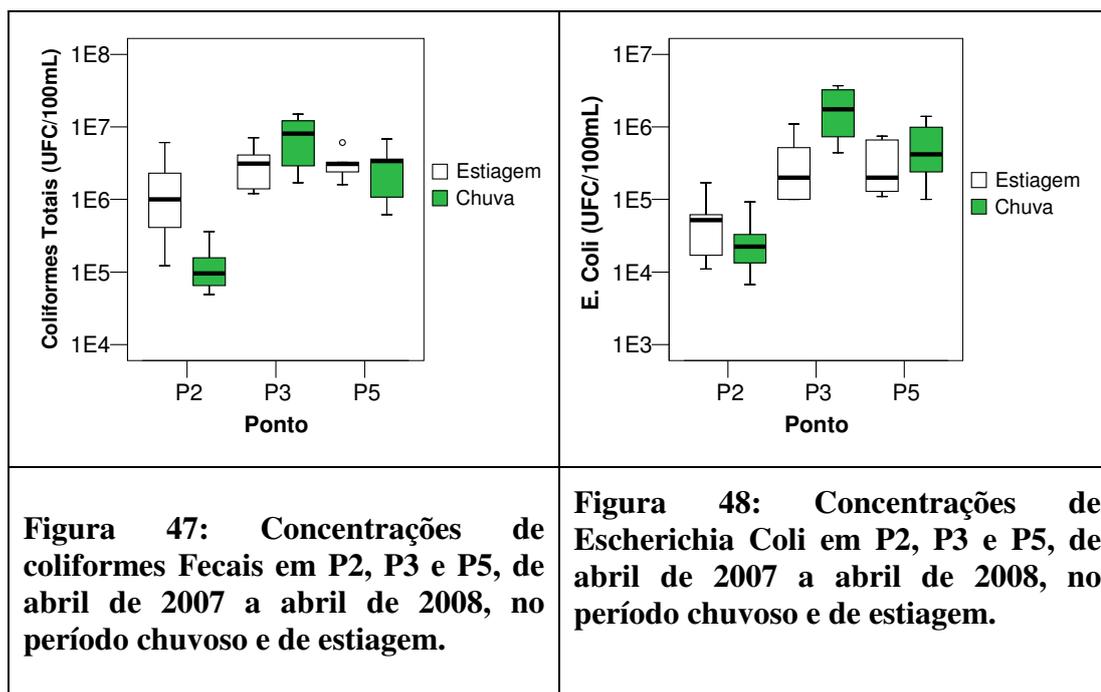


Tabela 42: Estatística descritiva de Coliformes Totais (UFC/100mL) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.

Pontos	Estiagem					Nº. De dados	Chuva					Nº. De dados
	Mín.	Máx	Média *	Mediana	DP		Mín.	Máx	Média *	Mediana	DP	
P2	1E+5	6E+6	9E+5	1E+6	2E+6	5	5E+4	4E+5	1E+5	1E+5	1E+5	8
P3	1E+6	7E+6	3E+6	3E+6	2E+6	5	2E+6	2E+7	6E+6	8E+6	5E+6	8
P5	2E+6	6E+6	3E+6	3E+6	2E+6	5	6E+5	7E+6	3E+6	3E+6	2E+6	7

Nota: *média geométrica

Tabela 43: Estatística descritiva de Escherichia coli (UFC/100mL) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.

Pontos	Estiagem					Nº. De dados	Chuva					Nº. De dados
	Mín.	Máx	Média *	Mediana	DP		Mín.	Máx	Média *	Mediana	DP	
P2	1E+4	2E+5	4E+4	5E+4	6E+4	5	7E+3	9E+4	2E+4	2E+4	3E+4	8
P3	1E+5	1E+6	3E+5	2E+5	4E+5	5	4E+5	4E+6	2E+6	2E+6	1E+6	8
P5	1E+5	8E+5	3E+5	2E+5	3E+5	5	1E+5	1E+6	4E+5	4E+5	5E+5	7

Nota: *média geométrica

6.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO COXIPÓ

6.3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Houve uma elevação nos valores mediano de pH no período de seca nos pontos de monitoramento (Tabela 44, Figura 49), que podem ter sido decorrentes da ação da chuva pelas razões apresentadas no item 6.2.1. Salienta-se que o tipo de solo presente na região da baixada Cuiabana, são em geral ácidos, com teores de cálcio e magnésio quase inexistentes (SEPLAN, 1997 apud ALMEIDA FILHO, 2003), que sob a ação da chuva pode influenciar nos valores de pH da água.

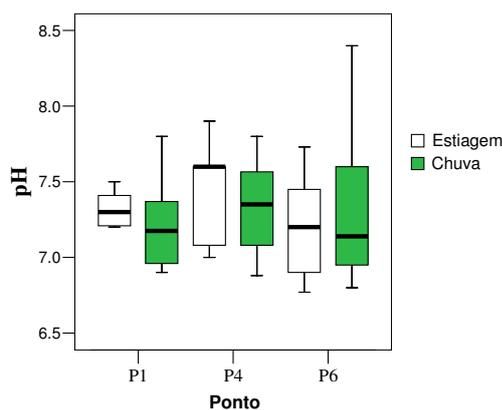


Figura 49: pH em P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.

Tabela 44: Estatística descritiva de pH nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem					Chuva				
	Mín.	Máx	Média	Mediana	Nº. de dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	Nº. de dados
P1	7,20	7,50	-	7,30	5	6,90	7,80	-	7,18	8
P4	7,00	7,90	-	7,60	5	6,88	7,80	-	7,35	8
P6	6,77	7,73	-	7,20	5	6,80	8,40	-	7,14	8

Os valores de pH variaram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05, para rios de classe 2, mostrando-se favoráveis, pois assim como menciona Almeida (2006), as alterações bruscas do pH da água podem resultar no desaparecimento dos organismos presente na mesma.

6.3.2 Turbidez

Os valores de turbidez (Figura 50) diminuíram no período de estiagem em todos os pontos no rio Coxipó. Essa diferença nos valores pode ser proveniente do carreamento de material do solo para dentro do manancial, aumento da velocidade da água e conseqüente ressuspensão de sólidos de fundo, em períodos de elevadas precipitações. Diferentemente da estação chuvosa, na estação seca aumentam as chances de sedimentação das partículas devido à redução da turbulência e velocidade de fluxo, fazendo que a turbidez se reduza (FISHER; GENE, 1975; PAYNE, 1956 apud ALMEIDA FILHO, 2003).

Os valores de turbidez aumentaram de P6 em direção a P1 (Tabela 45), que pode ser decorrente do lançamento de despejos que possuem uma alta concentração de material suspenso, pois as grandes variações de turbidez ocorrem usualmente, em rios ao atravessarem trechos urbanos (PAGGI, 1978).

Salienta-se que a bacia do rio Coxipó apresenta um grande desnível, da ordem de 600 metros, com solos favoráveis a erosão, conforme apresentado no item 4.3, favorecendo ao desprendimento de sólidos e elevação na turbidez, no momento de intensas precipitações. Outros fatores que podem ter contribuído para a elevação da turbidez são a composição da área de drenagem, tipo de vegetação e atividades que se desenvolvem dentro da bacia (MAIER, 1978).

Lima (2002) avaliando a qualidade da água do rio Cuiabá observou, comportamento similar, em que ocorreram aumentos nos valores de turbidez no sentido montante jusante, apontando para a importância da zona urbana no aporte de materiais para o rio Cuiabá.

Durante o período avaliado, o rio Coxipó apresentou somente no mês de março de 2008 turbidez acima do máximo (100 UNT) permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para rios de classe 2.

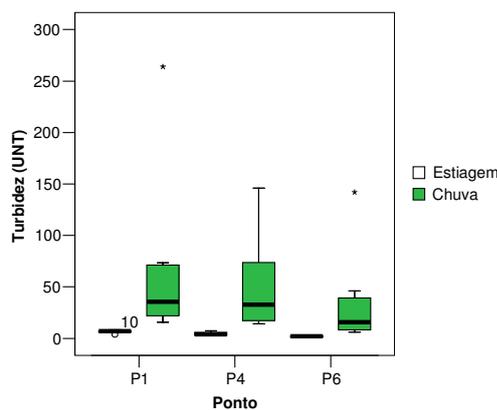


Figura 50: Turbidez em P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.

Tabela 45: Estatística descritiva de Turbidez (UNT) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. de dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	Nº. de dados	DP
P1	4	8	6	7	2	5	16	264	67	36	8	83
P4	3	7	5	4	2	5	14	146	51	33	8	46
P6	1	3	2	2	1	5	6	142	34	16	8	46

Nota: DP – Desvio padrão

6.3.3 Sólidos Totais e Sólidos Totais Suspensos

Assim como para a variável turbidez, os valores mais baixos de sólidos concentram-se no período de estiagem (Figura 51, Figura 52), ocorrendo uma tendência das concentrações de sólidos totais aumentarem de P6 em direção à P1, no período chuvoso. Assim como para a variável turbidez, as maiores concentrações de sólidos foram obtidas no mês de março de 2008, mês este em que a precipitação mensal foi de 169,5 mm, devido a forte relação entre essas variáveis.

Ocorreram aumentos de 2,2, 1,7 e 1,2 vezes nas concentrações médias de sólidos totais do período de estiagem para o chuvoso, em P1, P4 e P6, respectivamente. Já para sólidos em suspensão os aumentos foram de 1,9, 1,7, 1,4 vezes, em P1, P4 e P6, respectivamente. Indicando um comportamento diferenciado dessas variáveis em função da ocupação do solo e da precipitação, em que os aumentos são mais pronunciados no perímetro urbano (P6 e P4).

Essas elevações nas concentrações de sólidos podem ter origem no lançamento de resíduos, revolvimento de sedimentos do fundo do manancial,

carreamento de sólidos das margens, ou pelo transporte de partículas do solo e pavimento pelas águas da chuva, que dependendo da magnitude pode influenciar na vida aquática por meio da diminuição da passagem da luz, reduzindo a fotossíntese da vegetação submersa e das algas.

De acordo com Ellis e Hvitved-Jacobsen (1996) citado por Passarini e Barbassa (2007), as águas de origem pluvial possuem carga poluente equivalente e, às vezes, até mesmo superior à carga poluente presente nos esgotos sanitários.

Os autores Ide (1985) e Chebbo (1992) citados por Passarini e Barbassa, (2007) relatam ainda que a carga de poluição nas águas pluviais é tão nociva quanto a dos esgotos domésticos, e da mesma ordem de grandeza, não podendo ser desprezada quando se trata da qualidade de rios urbanos. A diferença crucial é que a poluição transportada pelas águas do escoamento pluvial é composta, essencialmente, por materiais em suspensão e metais pesados.

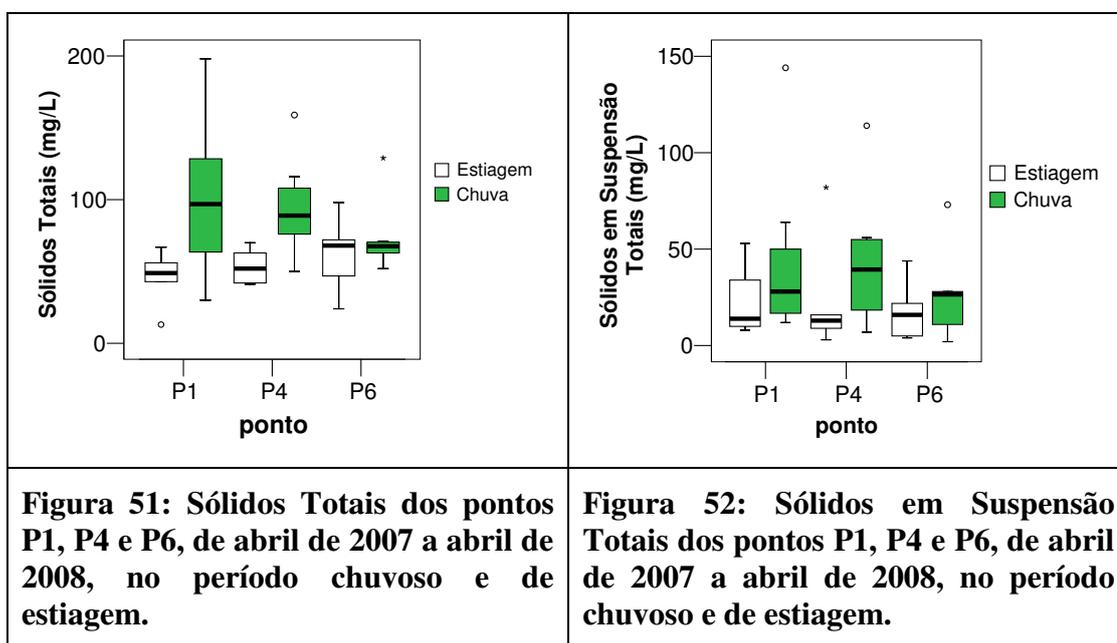


Tabela 46: Estatística descritiva de Sólidos Totais (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. de dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	Nº. de dados	DP
P1	13	67	46	49	20	5	30	198	101	97	8	55
P4	41	70	54	52	13	5	50	159	94	89	8	33
P6	24	98	62	68	28	5	52	129	73	67	8	23

Nota: DP – Desvio padrão

Tabela 47: Estatística descritiva de Sólidos em Suspensão Totais (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. de dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	Nº. de dados	DP
P1	8	53	24	14	19	5	12	144	43	28	8	44
P4	3	82	25	13	32	5	7	114	43	40	8	34
P6	4	44	18	16	16	5	2	73	26	27	8	22

Nota: DP – Desvio padrão

6.3.4 Temperatura

As temperaturas do ar e da água (Figura 53, Figura 54) no período chuvoso foram superiores ao de estiagem, com menor amplitude em P6, que pode ser decorrente do uso e ocupação dado ao local, pois existe forte presença de vegetação. As temperaturas da água permaneceram abaixo do valor máximo preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/05, para rios de classe 2.

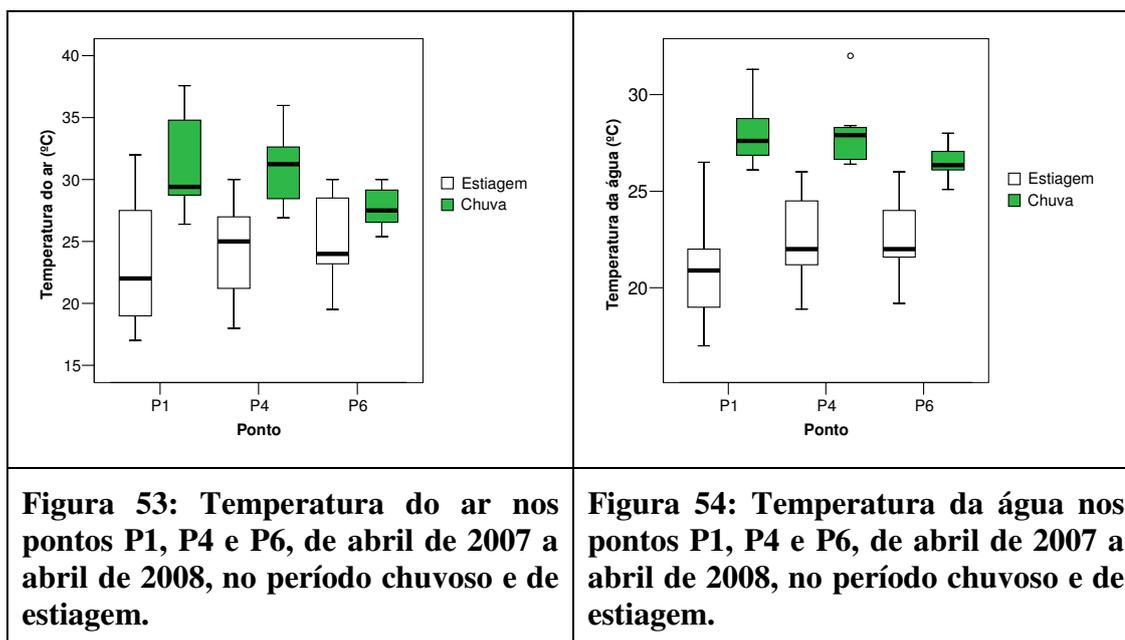


Figura 53: Temperatura do ar nos pontos P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.

Figura 54: Temperatura da água nos pontos P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem.

Tabela 48: Estatística descritiva de temperatura do ar (°C) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. de dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	Nº. de dados	DP
P1	17	32	23	22	6	4	26	38	31	29	8	4
P4	18	30	24	25	5	5	27	36	31	31	8	3
P6	20	30	25	24	4	5	25	30	28	28	8	2

Nota: DP – Desvio padrão

Tabela 49: Estatística descritiva de temperatura da água (°C) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. de dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	Nº. de dados	DP
P1	17	27	21	21	4	5	26	31	28	28	8	2
P4	19	26	23	22	3	5	26	32	28	28	8	2
P6	19	26	23	22	3	5	25	28	27	26	8	1

Nota: DP – Desvio padrão

6.3.5 Demanda Bioquímica (DBO) e Química de Oxigênio (DQO)

A concentração em P1 foi maior que em P6 para a variável DQO no período chuvoso (Tabela 50) e para DBO (Tabela 51) nos dois períodos.

As concentrações de DQO e DBO (Figura 56 e Figura 57) aumentaram no período chuvoso, que pode ter sido decorrente do carreamento de material particulado, incluindo material biodegradável, para o leito do rio resultando em demanda por oxigênio.

As concentrações de DBO de forma geral apresentaram-se abaixo do máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

Perez (1992 apud MACHADO, 2006), informou que águas superficiais com DBO₅ inferiores a 4 mg/L são razoavelmente limpas, e aquelas com níveis maiores do que 10 mg/L são consideradas poluídas, em função do aporte de quantidades de material orgânico degradável. Neste sentido o rio Coxipó apresenta-se com águas razoavelmente limpas, principalmente no período de estiagem.

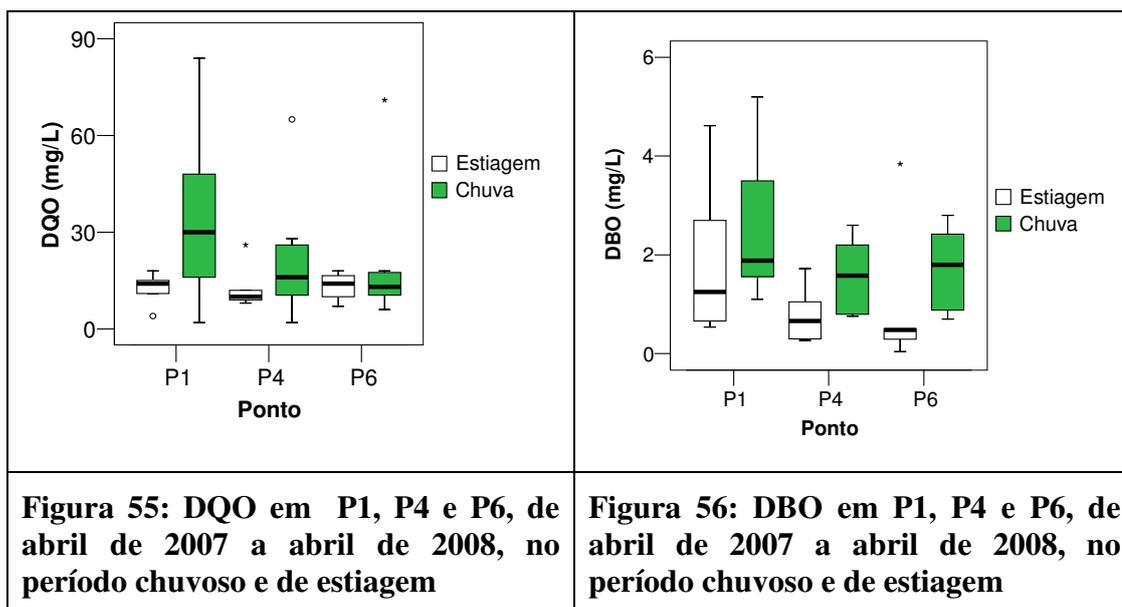


Tabela 50: Estatística descritiva de DQO (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem					Nº. de dados	Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP		Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	
P1	4	18	12	14	5	5	2	84	35	30	6	29
P4	8	26	13	10	7	5	2	65	25	16	7	21
P6	7	18	13	14	5	4	6	71	21	13	7	22

Tabela 51: Estatística descritiva de DBO (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem					Nº. de dados	Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP		Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	
P1	0,5	4,6	2,0	1,3	1,7	5	1,1	5,2	2,5	2,2	7	1,5
P4	0,3	1,7	0,8	0,7	0,6	5	0,8	2,6	1,6	1,4	7	0,8
P6	0,0	3,8	1,0	0,5	1,6	5	0,9	2,8	1,7	1,8	7	0,9

6.3.6 Oxigênio Dissolvido

Verifica-se diminuição de oxigênio dissolvido (Tabela 52) de P6 em direção da P1, sem atingir contudo o valor limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05 para rios de classe 2.

Os valores de oxigênio na estação de monitoramento P6 de forma geral foram superiores aos obtidos em P1. Isso pode ser decorrente do fato de P6 estar fora do perímetro urbano e sofrer menor pressão antrópica do que o trecho dentro do

perímetro urbano, uma vez que nesta localização, o rio também é usado para diluição de efluentes. É importante salientar que a montante de P4 existe a foz do Córrego Castelhana e a ETA Tijucal, contribuindo como lançamento de águas poluídas do referido córrego e com lançamento intermitente da água de lavagem de filtros da ETA.

Em P1 e P6 a variação de oxigênio dissolvido foi maior no período de estiagem, que no período chuvoso, contudo as diferenças entre os valores são muito pequenas.

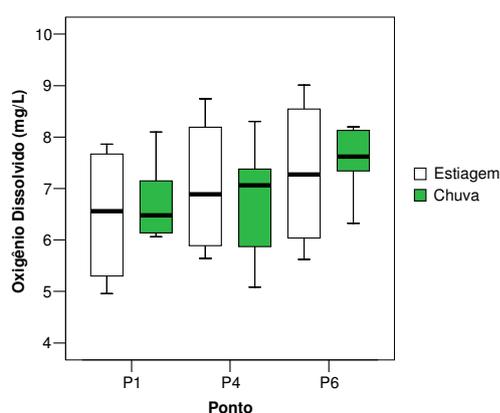


Figura 57: Oxigênio dissolvido nos pontos P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem

Tabela 52: Estatística descritiva de oxigênio dissolvido (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº. de dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	Nº. de dados	DP
P1	5,0	7,9	6,5	6,6	1,4	4	6,1	8,1	6,7	6,5	8	0,7
P4	5,6	8,7	7,0	6,9	1,4	4	5,1	8,3	6,8	7,1	8	1,1
P6	5,6	9,0	7,3	7,3	1,5	4	6,3	8,2	7,6	7,6	8	0,6

6.3.7 Nitrogênio Total Kjeldhal, Nitrogênio Amoniacal e Nitrito

As concentrações de NTK foram maiores no período de estiagem, em P1 e P6 (Figura 58), com mesmo fenômeno observado para a variável nitrogênio amoniacal em P4 e P6 (Figura 59).

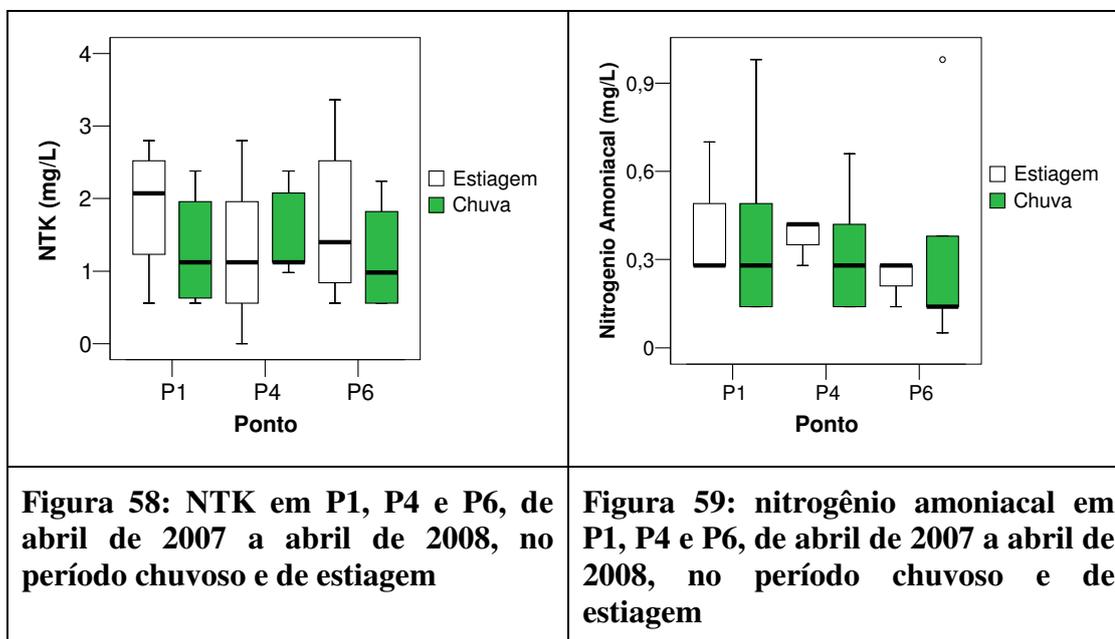
As concentrações de nitrogênio foram maiores dentro do perímetro urbano, que pode ser decorrente de diversas fontes conforme menciona Maier (1978). O autor cita que os compostos nitrogenados podem ter origem na erosão dos solos, na

drenagem de áreas agrícolas e de terrenos pantanosos, na descarga de efluentes industriais e domésticos e na decomposição de vegetação marginal.

Observaram-se nos resultados de NTK muitos valores de concentrações iguais a 1,12 mg/L, isso pode ser decorrente da técnica utilizada, que é própria para águas com concentrações mais elevadas de nitrogênio, pois devido a problemas técnicos, não foi possível utilizar a técnica para baixas concentrações.

Para a variável nitrito só foi possível à realização de uma coleta no período de estiagem, impossibilitando comparar o seu comportamento com o período chuvoso, contudo, pode-se verificar maior amplitude em P1 (Figura 60) quando comparado aos pontos a montante.

As concentrações máximas de nitrogênio amoniacal são estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357/05, em função do pH da água, em que durante todo o período avaliado, as mesmas mantiveram-se entre os limites estabelecidos pela referida resolução. A variável nitrito também se manteve abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05, para rios de classe 2.



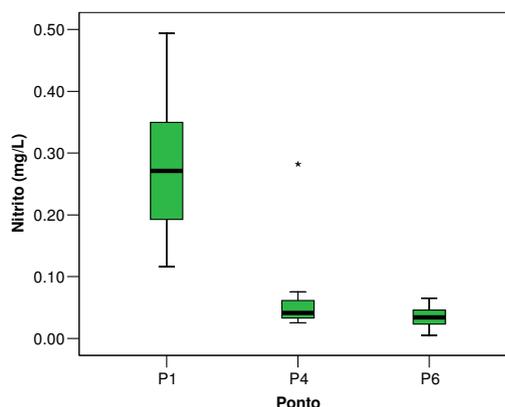


Figura 60: Nitrito em P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem

Tabela 53: Estatística descritiva de Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK) (mg/L) nos pontos de amostragem, no período de estiagem e de chuvas.

Pontos	Estiagem					Nº.de dados	Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP		Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	
P1	0,56	2,80	1,88	2,07	0,95	4	0,56	2,24	1,20	1,12	7	0,60
P4	0,00	2,80	1,31	1,12	1,4	3	1,12	2,38	1,60	1,33	6	0,70
P6	0,56	3,36	1,68	1,40	1,2	4	0,00	1,82	0,82	0,56	6	0,53

Tabela 54: Estatística descritiva de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para rio Coxipó, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem					Nº.de dados	Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP		Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	
P1	0,28	0,70	0,42	0,28	0,2	3	0,14	0,98	0,44	0,42	7	0,3
P4	0,28	0,42	0,37	0,42	0,1	3	0,44	0,98	0,44	0,35	6	0,33
P6	0,14	0,28	0,23	0,28	0,1	3	0,05	0,38	0,19	0,14	6	0,12

Tabela 55: Estatística descritiva de Nitrito (mg/L) para rio Coxipó, no período de chuvas

Pontos	Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	Nº.de dados	DP
P1	0,17	0,49	0,30	0,28	7	0,1
P4	0,03	0,28	0,11	0,05	7	0,1
P6	0,01	0,07	0,04	0,03	7	0,2

6.3.8 Fósforo Total

A variação da concentração de fósforo (Figura 61) foi maior no período chuvoso, em todos os pontos de monitoramento, onde P6 apresentou menores concentrações do que P1, nos dois períodos sazonais. As concentrações mais elevadas em P1 podem ser decorrentes do carreamento de sólidos para o leito do rio,

ou da ressuspensão de material de fundo rico em nutrientes que se desprende devido ao aumento da velocidade no corpo d'água.

Salienta-se que P1 encontra-se próximo a foz com o rio Cuiabá e dentro do perímetro urbano, e conforme cita Esteves (1998), em muitas regiões, notadamente as regiões industrializadas e com elevada densidade populacional, as fontes artificiais de fósforo são mais importantes que as naturais.

A partir dos resultados obtidos verifica-se que o rio Coxipó em P1 e P4 possui potencial para desenvolver processos de eutrofização, pois conforme ressalta Dvwnk (1999 apud MACHADO, 2006), rios de correnteza baixa, os teores críticos de fósforo para iniciar o processo de eutrofização estariam no intervalo de 0,1 a 0,2 mg/L e para rios de correnteza alta não se deve ultrapassar o valor limite de 0,3 P-mg/L.

Observou-se com os resultados, que os pontos P1, P4 e P6 estiveram respectivamente em 85%, 92% e 38% das coletas, acima do que estabelecem a Resolução CONAMA nº 357/2005, estando assim em não conformidade com relação a este parâmetro.

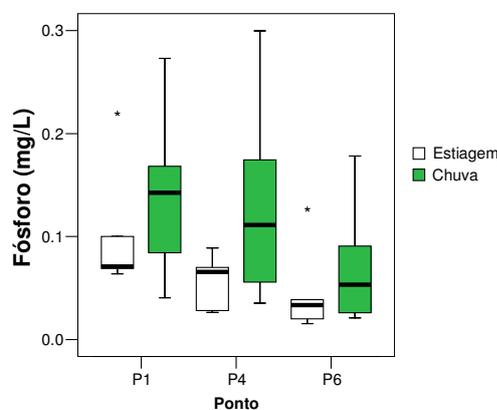


Figura 61: Fósforo total em P1, P4 e P6, de abril de 2007 a abril de 2008, no período chuvoso e de estiagem

Tabela 56: Estatística descritiva das concentrações de Fósforo (mg/L) para rio Coxipó, no período de estiagem e de chuvas

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº de dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	Nº. de dados	DP
P1	0,06	0,22	0,10	0,07	0,1	5	0,04	0,27	0,14	0,14	8	0,08
P4	0,03	0,09	0,06	0,07	0,0	5	0,04	0,30	0,13	0,11	8	0,09
P6	0,02	0,13	0,05	0,03	0,0	5	0,02	0,18	0,07	0,05	8	0,05

6.3.9 Coliformes Fecais e Escherichia Coli

As concentrações de Coliformes Totais (Figura 62) e *E. coli* (Figura 63) apresentaram aumentos de montante para jusante, que pode ser decorrente da presença do perímetro urbano, evidenciando a forte influência dos esgotos urbanos na contribuição para a elevação dos teores desta variável no rio.

As concentrações de *E. coli* aumentaram no período chuvoso em P4 e P6, pois pode ter havido o carreamento desses organismos para a calha do rio.

A concentração de *E. coli* em P6 esteve acima do limite permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 por três vezes durante o período de estudo, justamente no período chuvoso. Em todas as amostras coletadas, P1 e P4 mantiveram-se acima do limite máximo estabelecido pela legislação vigente.

De acordo com o Relatório de Balneabilidade das Praias do Estado de Mato Grosso de 2006, em cinco coletas realizadas na Ponte de Ferro entre 05/07/06 a 01/08/06, as concentrações de Escherichia Coli variaram de 10 a 1198 UFC/100ml, sendo classificada pela Secretaria como águas próprias ou satisfatória.

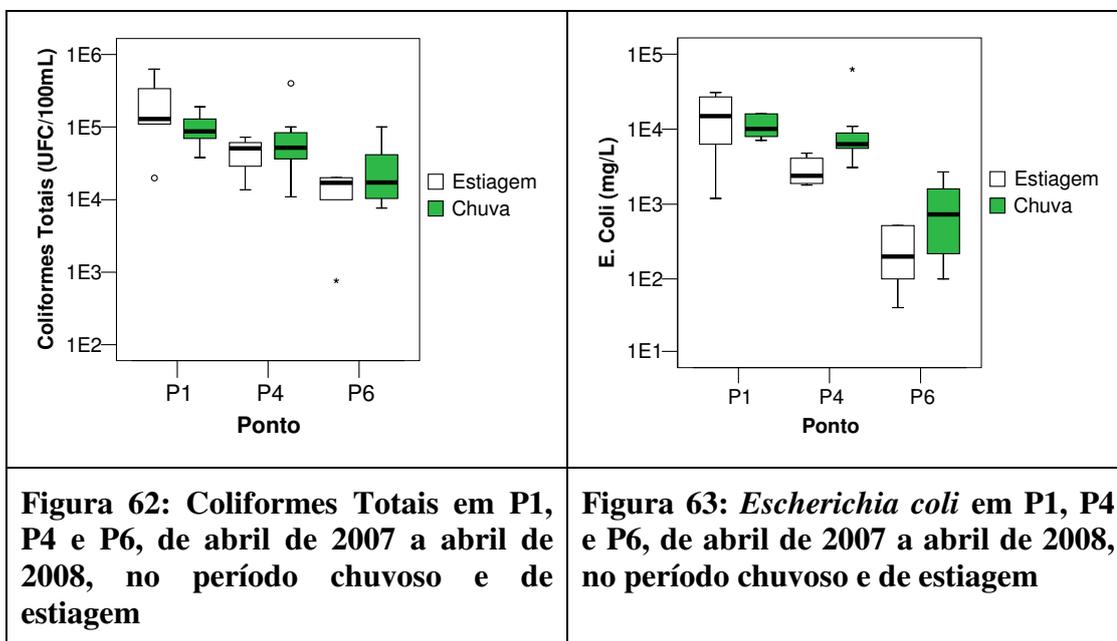


Tabela 57: Valores mínimos, máximos e médios de Coliformes Totais, no período de estiagem e de chuvas.

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº.de dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	Nº.de dados	DP
P1	2E+4	6E+5	1E+5	1E+5	2E+5	5	4E+4	2E+5	9E+4	9E+5	8	5E+4
P4	1E+4	7E+4	4E+4	5E+4	2E+4	5	1E+4	4E+5	5E+4	6E+4	8	1E+5
P6	8E+2	2E+4	9E+3	2E+4	8E+3	5	8E+3	1E+5	2E+4	2E+4	8	3E+4

Tabela 58: Valores mínimos, máximos e médios de *Escherichia coli*, no período de estiagem e de chuvas.

Pontos	Estiagem						Chuva					
	Mín.	Máx	Média	Mediana	DP	Nº.de dados	Mín.	Máx	Média	Mediana	Nº.de dados	DP
P1	1E+3	3E+4	1E+4	2E+4	1E+4	5	7E+3	2E+4	1E+4	1E+4	8	4E+3
P4	2E+3	5E+3	3E+3	2E+3	1E+3	5	3E+3	6E+4	1E+4	6E+3	8	2E+4
P6	4E+1	5E+2	2E+2	2E+2	2E+2	5	1E+2	3E+3	1E+3	6E+2	8	9E+2

6.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

Nas Figuras 64 e 65 são apresentados os índices de qualidade da água para o Rio Coxipó e para os córregos, durante o período de monitoramento.

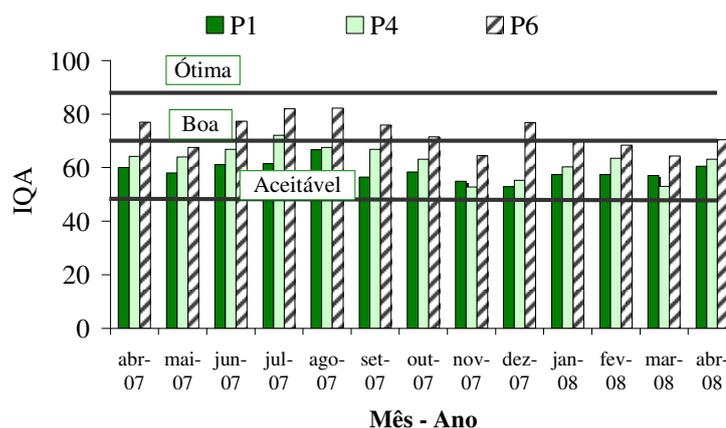


Figura 64: IQA para o rio Coxipó nos pontos de monitoramento, entre abril de 2007 a abril de 2008.

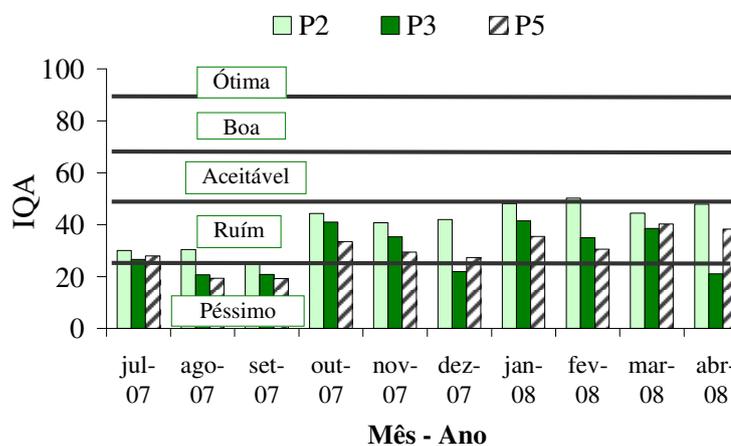


Figura 65: IQA para os córregos nos pontos de monitoramento, entre os meses de julho de 2007 a abril de 2008.

O P6 localizado na Ponte de Ferro apresentou na maioria das coletas Índice de Qualidade da Água “Boa” (Figura 64), enquanto P4 e P1, em geral apresentaram IQA “Aceitável”. A melhor qualidade da águas foi obtida em P6, devido à baixa concentração populacional e industrial a montante do mesmo, refletindo nos valores de IQA.

Os valores de IQA em P2 foram superiores a P3 (Figura 65), concordando com o comportamento de algumas variáveis físicas, químicas e biológicas, decorrentes do grande adensamento populacional presente a montante de P3, o que reflete na sua qualidade.

O córrego do Moinho apresentou qualidade da água variando de ruim a péssimo, para ambos os pontos de monitoramento. Verificam-se também os maiores valores de IQA para P2 de outubro a novembro, justamente o período em que ocorreram as maiores alturas pluviométricas, o que pode ter diluído os poluentes, refletindo assim nos resultados do índice de qualidade de água.

O córrego Castelhana apresentou valores de IQA inferiores ao córrego do Moinho próximo à foz, com qualidade de ruim a péssima.

Verifica-se na Figura 66 que os pontos P2 e P5 apresentaram comportamentos diferenciados frente às precipitações quando comparado ao rio Coxipó, em que as precipitações favoreceram a melhoria da qualidade da água em P2 e P5 (córregos), com fenômeno inverso para o rio Coxipó.

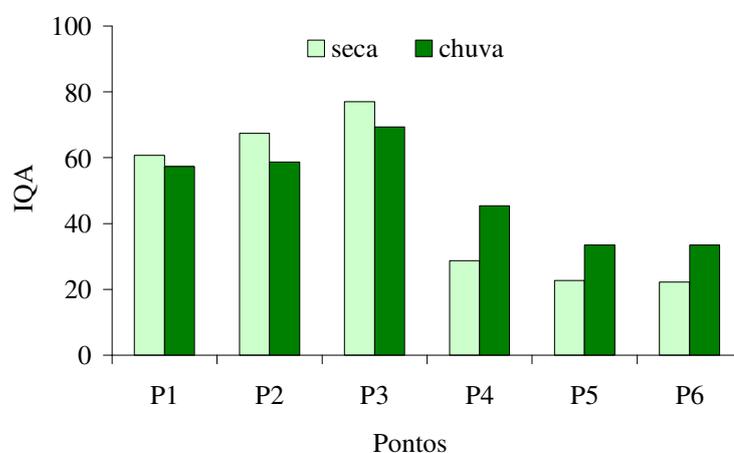


Figura 66: IQA médio nos pontos monitorados nos períodos de estiagem e de chuva.

Salienta-se que para poder calcular os Índices de Qualidade de Água em todos os meses foi necessário o preenchimento de algumas falhas.

6.4.1 Influência dos parâmetros no Índice de Qualidade de Água – IQA

Na Figura 67 são apresentados os índices de qualidade para cada parâmetro no rio Coxipó, que foram calculadas pelas equações apresentadas no Quadro 1, onde

se observa que os menores valores foram obtidos para o parâmetro Coliforme, representando o parâmetro que mais contribui para a diminuição do índice de qualidade da água no rio Coxipó. Salienta-se que na avaliação da qualidade da água o parâmetro *E. coli* se destacou por apresentar-se acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05, principalmente no perímetro urbano, necessitando de intervenção na bacia com respeito a este parâmetro.

Já para os córregos monitorados (Figura 68), foi verificado que vários parâmetros contribuíram para a diminuição do IQA, sendo principalmente OD, DBO, fósforo e *E. coli*. Estas variáveis já discutidas no item 6.2, apresentaram-se fora dos padrões preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/05 para rios de classe 2, representando os parâmetros que deve ser dada atenção redobrada quanto à gestão dos recursos hídricos. São parâmetros que indicam forte pressão antrópica na bacia, indicando a necessidade intervenção em saneamento, para a melhoria da qualidade da água.

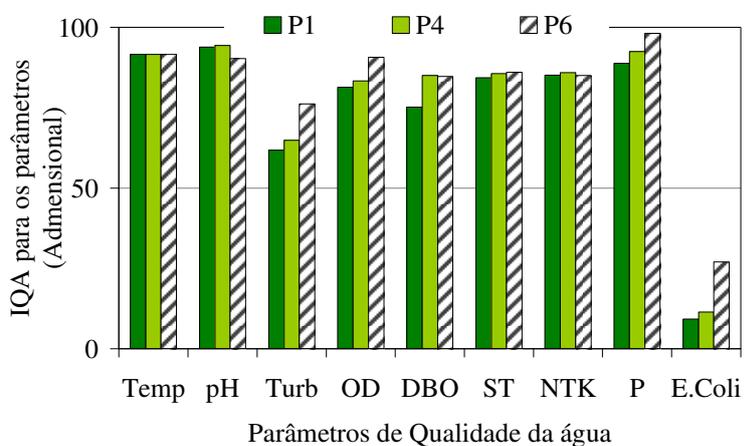


Figura 67: Influência dos parâmetros no IQA do rio Coxipó

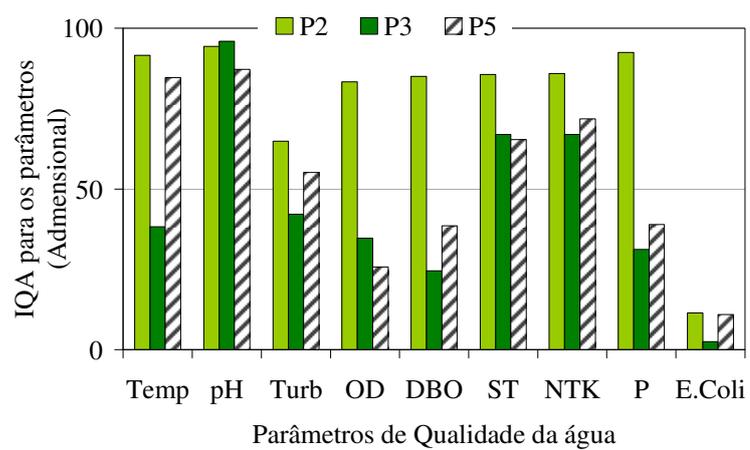


Figura 68: Influência dos parâmetros no IQA nos córregos

6.5 MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA

6.5.1 Análise de sensibilidade

A partir de uma análise de sensibilidade é possível indentificar os parâmetros do modelo de qualidade água que mais influenciam nos resultados simulados. Assim, a análise de sensibilidade foi realizada da mesma forma da descrita por Bárbara (2006) e von Sperling (2007).

A análise de sensibilidade foi realizada para a variável oxigênio dissolvido, por essa ser dependente de um maior número de coeficientes que a DBO. Os parâmetros apresentados na Tabela 59 foram os selecionados para a análise de sensibilidade.

Cada parâmetro variou dentro de um intervalo de valores, a partir de um valor de referência. O valor de referência foi considerado como o valor médio de cada intervalo acrescido de 20%.

Tabela 59: Análise de sensibilidade para o rio Coxipó no período chuvoso.

Coeficientes	Mínimo	Máximo	Média	+20%	-20%	Diferença média entre os valores simulados de OD (mg/L) para os dois valores extremos de cada parâmetro
K_1	0	6,8	3,4	4,08	2,72	0,22
K_2	4,8	10,8	7,8	9,36	6,24	0,16
K_5	0,2	0,5	0,35	0,42	0,28	0,00

O coeficiente de desoxigenação (K_1) apresentou diferença nas concentrações de oxigênio dissolvido para os dois extremos de K_1 , de 0,22 mg/L, enquanto que para o coeficiente de reaeração (K_2) a diferença foi de 0,16 mg/L. Verificando-se com isso que o parâmetro K_1 influenciou mais fortemente nos resultados das simulações de oxigênio dissolvido.

Devido a pouca influência dos demais parâmetros cinéticos da equação do modelo de oxigênio dissolvido, e pelos mesmos não terem sido coletados em campo, optou-se por realizar as calibrações a partir do coeficiente remoção global no rio – K_r , sendo este maior que o coeficiente de desoxigenação – K_1 , englobando os demais coeficientes.

Apesar das velocidades no rio Coxipó estarem favoráveis para arraste de lodo do fundo, pois conforme cita Gastaldini (1982, apud LIMA, 1997), através de considerações teóricas, os depósitos de lodo fresco, em digestão, podem ser removidos por ressuspensão em escoamentos com velocidades entre 0,2 e 0,3 m/s, conferindo efetivas demandas para a massa líquida, enquanto o arraste dos depósitos de lodo digerido, só ocorre com velocidades superiores a 0,4 m/s, o parâmetro *demanda de oxigênio pelo sedimento* (K_5) não foi considerado para a modelagem da qualidade da água pois a análise de sensibilidade demonstrou que a mesma não influencia nos oxigênio dissolvido para o rio Coxipó.

6.5.2 Influência da vazão nos valores simulados pelo Qual2K

O programa QUAL2K considera a vazão constante em cada elemento computacional, e calcula a vazão de saída a partir do somatório das vazões pontuais e difusas que entram, e da subtração das pontuais e difusas que são retiradas. O programa utiliza essas vazões modeladas para simular a variação espacial das variáveis físicas, químicas e biológicas de qualidade da água, assim como os coeficientes de reaeração (K_2).

Para verificar a influência da vazão nos resultados simulados, fizeram-se simulações com dois conjuntos de vazões. O primeiro grupo que se denominou de **Vazão 1**, representam somente as vazões coletadas em campo e o conjunto **Vazão 2**, as que foram inseridas contribuições difusas para o trecho do rio que possuíam corpos d'água sem informações. Essas simulações foram realizadas com dados do período chuvoso.

É importante salientar que ambas as simulações para **Vazão 1** e **Vazão 2** foram realizadas com os mesmos valores de K_r e K_2

Na Figura 69 são ilustrados as duas vazões simuladas e as observadas, em que se verifica que os valores estimados fazem com que as vazões simuladas pelo modelo se aproximem mais dos dados observados.

Observa-se ainda na Figura 69, no quilômetro 11,2 a diminuição da vazão, referente ao trecho em que ocorre a captação da ETA Tijucal ($0,5\text{m}^3/\text{s}$), com uma posterior elevação no quilômetro 10,05 e 4,8, referente aos tributários córregos Castelhana e Moinho, respectivamente.

As variações do oxigênio dissolvido ao longo do trecho modelado para os dois conjuntos de vazões, para a variável oxigênio dissolvido foi de 1,05 mg/L (Figura 70), para DBO (Figura 71) a diferença foi de 0,4 mg/L e *E. coli* (Figura 72) de 984 UFC/100mL, em P1.

A partir do exposto, verificou-se a necessidade de estimar as vazões que não foram passíveis de medição, de forma a obter resultados mais precisos. Estas considerações foram utilizadas nas simulações desta pesquisa.

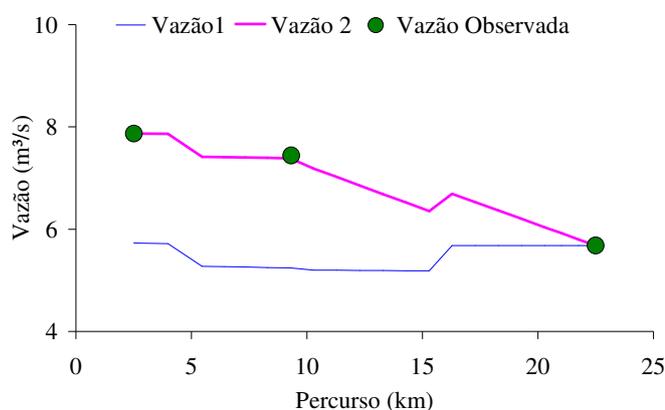


Figura 69: Variação espacial da vazão observadas e das duas vazões simuladas

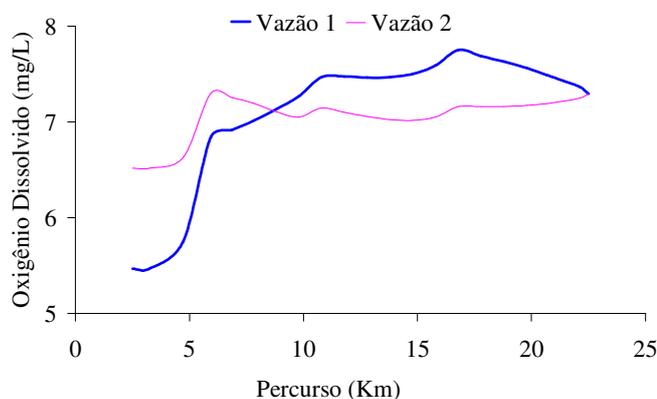


Figura 70: Variação espacial do oxigênio dissolvido para os dois conjuntos de vazões

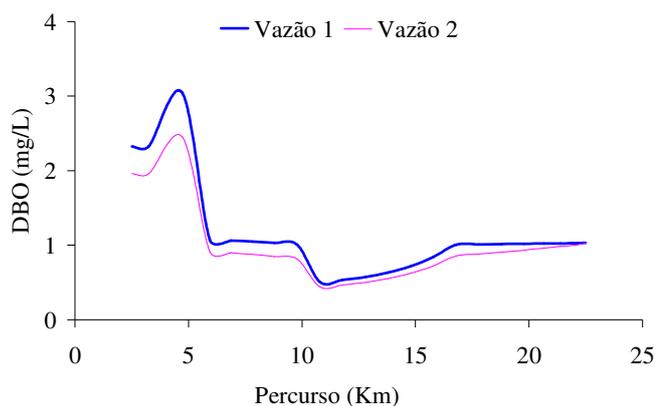


Figura 71: Variação espacial da DBO para os dois conjuntos de vazões

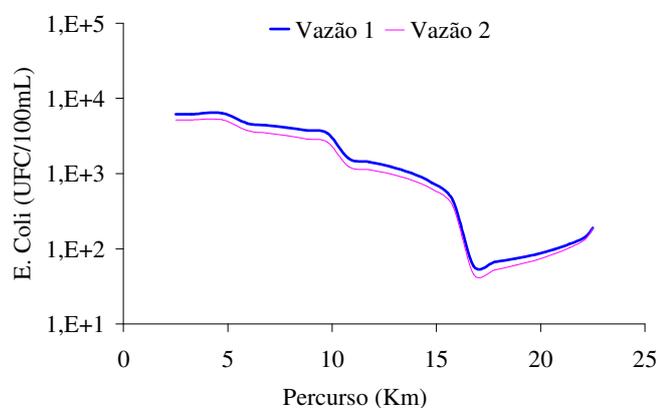


Figura 72: Variação espacial da *E. coli* para os dois conjuntos de vazões

6.5.3 Calibração do modelo

O modelo foi calibrado para 20 km do rio Coxipó, a partir de sua foz, em que foram simulados: Oxigênio Dissolvido (OD) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e *Escherichia coli*.

O coeficiente de dispersão longitudinal não foi utilizado, pois a análise de sensibilidade mostrou que o mesmo não influenciou nos resultados de OD, DBO e *E. coli*, para a área em estudo.

A calibração para o período de estiagem foi realizada utilizando o modelo interno do programa Qual2K, que seleciona entre as equações de O'Connor-Dobbins, Churchil e Owens e Gibbs a que melhor se aplica ao manancial, em função das características hidráulicas. O programa selecionou duas equações para o cálculo sendo elas as equações de O'Connor-Dobbins, aplicadas para os trechos 1, 2 e 3, e Owens e Gibbs, aplicadas para os trechos de 4 a 10, enquanto para o período chuvoso

foi utilizada a equação proposta por Churchil, em todos os trechos. A partir dos resultados obtidos com as referidas equações, foram realizadas simulações com valores próximos, através de aproximações sucessivas, afim de obter maior aderência dos valores simulados aos observados.

Gastaldini et al. (2007) utilizaram a equação de O'Connor – Dobbins para calcular o coeficiente de reaeração para o rio Vacacaí Mirim, para altas vazões, assim como feito por Lima (2001) utilizando o modelo Qual2E para a bacia do rio Cuiabá.

Foi adotado Demanda do Sedimento igual a $0,0 \text{ gO}_2/\text{m}^2\text{d}$, e velocidade de sedimentação da DBO igual à zero m/d, assim como os parâmetros relacionados a algas.

6.5.4 Simulação do OD, DBO e Escherichia Coli para o período de estiagem.

A Figura 73 e 74 apresentam o resultado das simulações de DBO e *Escherichia coli*, para o rio Coxipó no período de estiagem, enquanto a Tabela 60 apresenta os resultados numéricos da calibração.

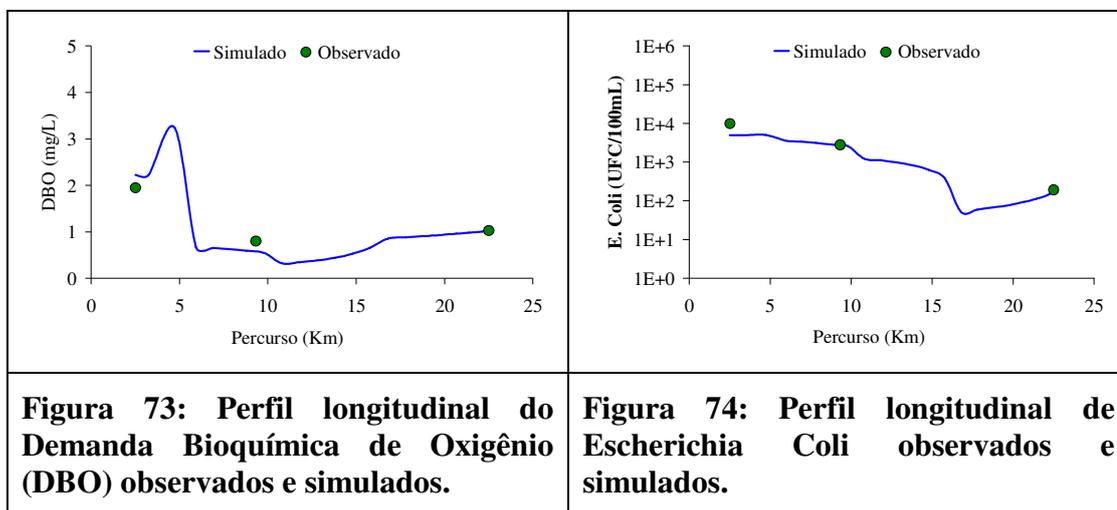


Tabela 60: Resultados das Simulações no período de estiagem para oxigênio dissolvido e *E. coli*, no rio Coxipó

Percurso (km)	DBO (mg/L)			Escherichia Coli (UFC/100mL)		
	Obs.	Sim.	Resíduo (%)	Obs.	Sim.	Resíduo (%)
22,5	1,0	1,0	0	1,9E+2	2E+2	0
9,32	0,8	0,6	45	2,8E+3	3E+3	8,8
2,51	2,0	2,2	11	9,9E+3	5E+3	101
Resíduo Médio			18,9	36,5		

Nota: Obs.: Observado; Sim.: Simulado;

Verificou-se pouca diferença entre os resultados de DBO observadas e simuladas, da ordem de 19%, contudo para a variável *Escherichia coli*, a diferença entre os valores simulados e observados foi da ordem de 36%.

Houve novo aumento nas concentrações de coliformes nas proximidades do quilometro 16 (Figura 74), que se deve a poluição difusa que se inicia dentro do perímetro urbano.

Observa-se no quilômetro 10,5 e 4,8 (Figura 73) que existem as confluências dos Córregos do Moinho e Castelhana, respectivamente. Pode se observar à jusante desses dois pontos uma elevação nos valores de DBO. Estas contribuições pontuais são determinantes na qualidade do manancial, pois traz um efluente altamente poluído.

Os coeficientes de remoção global de DBO - K_r , utilizados para a calibração de DBO e OD encontram-se na Tabela 61, em que os valores elevados no perímetro urbano é decorrente da maior poluição presente neste trecho. A taxa de decaimento de patógenos que melhor aderiu aos dados observados foi igual a $1,0 \text{ d}^{-1}$.

Tabela 61: Coeficientes de remoção global de DBO para simulações no período de estiagem, no rio Coxipó

Trecho	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kr	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	15	15	15	15	15

A Figura 75 apresenta o resultado da simulação de oxigênio dissolvido utilizando os valores de K_r apresentados na Tabela 63 e os valores de K_2 calculados pelo método interno do programa Q2K (Simulação 1).

O programa selecionou essas equações em função das características hidráulicas do rio Coxipó.

A partir dos resultados de K_2 fornecidos pelo programa, iniciou-se um processo de aproximações sucessivas (simulação 2) de forma a obter a maior aderência entre os dois conjuntos de dados, conforme pode ser observado na Figura 75 e Tabela 62.

Gastaldini e colaboradores (2007) utilizaram a equação de O'Connor – Dobbins para calcular o coeficiente de reaeração para o rio Vacacaí Mirim, para altas vazões. Lima (2001) calibrando o modelo Qual2E para a bacia do rio Cuiabá também utilizou a equação de O'Connor – Dobbins.

O método das aproximações sucessivas diminuiu a diferença entre os valores observados e os simulados, que a princípio era de 19,7% e passa para 2%, resultando em valores simulados mais próximos dos observados, contudo os valores de K_2 obtido pelo método de aproximações sucessivas são superiores aos apresentados pelas equações utilizadas.

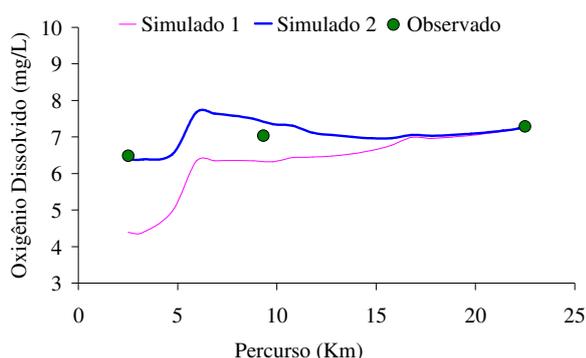


Figura 75: Perfil longitudinal do Oxigênio Dissolvido (OD) observados e simulados.

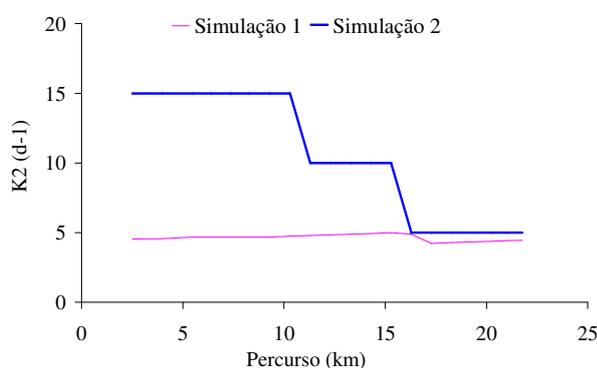


Figura 76: Perfil longitudinal do coeficiente de reaeração (K_2) obtido pelas equações (Simulação 1) e por aproximações sucessivas (Simulação 2).

Tabela 62: Resultados das Simulações de Oxigênio Dissolvido (mg/L) no período de estiagem, para dois métodos de obtenção de K_2 no rio Coxipó

Percurso (km)	OD (mg/L) Obs.	Para K_2 obtido por Equações		Para K_2 obtido por aproximações sucessivas	
		OD (mg/L) Sim.	Resíduo (%)	OD (mg/L) Sim.	Resíduo (%)
22,5	7,29	7,29	0	7,29	0
9,32	7,04	6,33	11,2	7,36	4,3
2,51	6,49	4,39	47,8	6,39	1,6
Resíduo Médio			19,7		2,0

Tabela 63: Valores de K_2 utilizados nas Simulações, no rio Coxipó

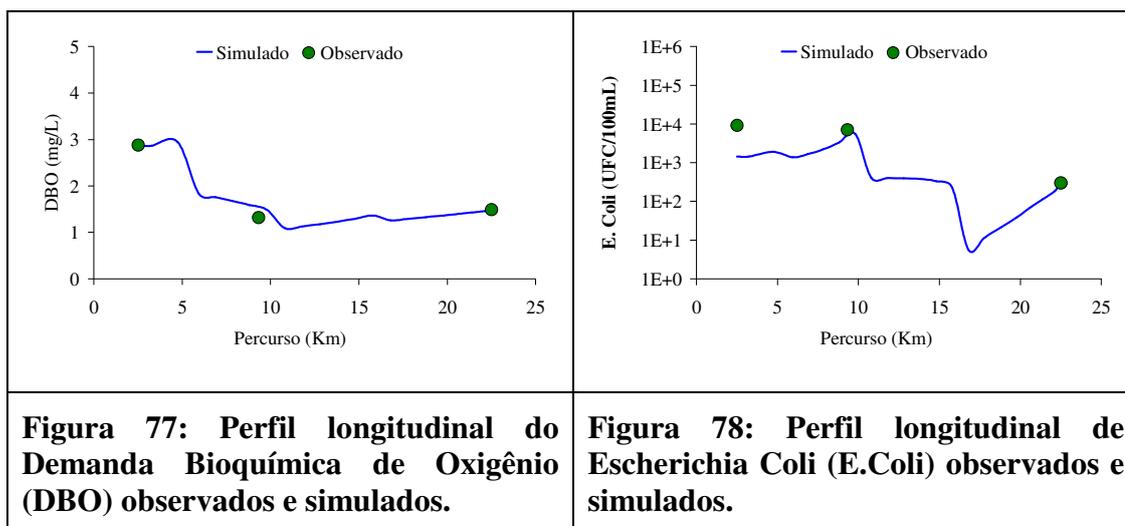
Trechos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_2 (Opção interna do Q2K)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10	10	15	15	15
K_2 (Aproximações sucessivas)	4,4	4,4	4,3	4,3	4,2	4,8	4,9	4,7	4,7	4,6

6.5.5 Simulação do OD, DBO e *Escherichia Coli* para o período chuvoso

As Figura 77 e 78 apresentam o resultado das simulações de DBO e *Escherichia coli*, para o rio Coxipó no período chuvoso, enquanto a Tabela 64 apresenta os resultados numéricos da calibração e a Tabela 65, os valores de K_r utilizados. Observa-se diferença entre os resultados de DBO da ordem de 4%, contudo para a variável *Escherichia coli* as diferenças entre os valores simulados e observados foram da ordem de 189%.

A taxa de decaimento de patógenos que forneceu melhor aderência entre os dados observados e simulados foi igual a 19 d^{-1} , valor muito acima dos valores obtidos na literatura específica, contudo, esses elevados valores podem ser decorrentes também do fato do modelo Q2K, não apresentar possibilidade de inserção de coeficientes de decaimento bacteriano diferentes nos diversos trechos, o que pode implicar em altos valores desse coeficiente.

Assim como observado para o período de estiagem, fica evidente nos quilômetros 10,5 e 4,8 (Figura 77) o aumento de DBO devido às confluências dos Córregos Castelhana e Moinho, respectivamente, onde se observa à jusante desses dois pontos uma elevação nos valores de DBO. Estas contribuições pontuais são determinantes na qualidade do manancial, e conseqüentemente na gestão dos recursos hídricos da bacia do rio Coxipó, pois esses córregos (principalmente o córrego do Moinho) trazem um efluente muito poluído ao manancial principal.

**Tabela 64: Resultados das simulações no período de chuva**

Percurso (km)	DBO (mg/L)			Escherichia Coli (UFC/100mL)		
	Obs.	Sim.	Resíduo (%)	Obs.	Sim.	Resíduo (%)
22,5	1,49	1,49	0	3E+2	3E+2	0
9,32	1,32	1,49	11,41	7E+3	6E+3	27
2,51	2,88	2,86	0,70	9E+3	1E+3	540
Resíduo Médio			4,0			189

Nota: Obs.: Observado; Sim.: Simulado;

Tabela 65: Coeficientes de remoção global de DBO (Kr) para o período de chuvoso

Trecho	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kr	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	3,30	3,30	3,30	3,30

A Figura 79 apresenta o resultado das simulação de oxigênio dissolvido utilizando os valores de K_2 calculados pelo método interno do programa Q2K (Simulação 1), que utilizou as equações de Churchill, enquanto a Figura 80 apresenta o perfil longitudinal do K_2 calculados pela referida equação.

A Tabela 66 apresenta os resultados das simulações no período de chuvoso, para dois métodos de obtenção de K_2 , enquanto a Tabela 67 apresenta os valores de K_2 utilizados em ambas as simulações.

O método das aproximações sucessivas (Simulação 2) diminuiu a diferença entre os valores observados e os simulados, que inicialmente era de 3,6 % e passa para 2,1%, resultando em valores simulados mais precisos (Figura 79, Tabela 66).

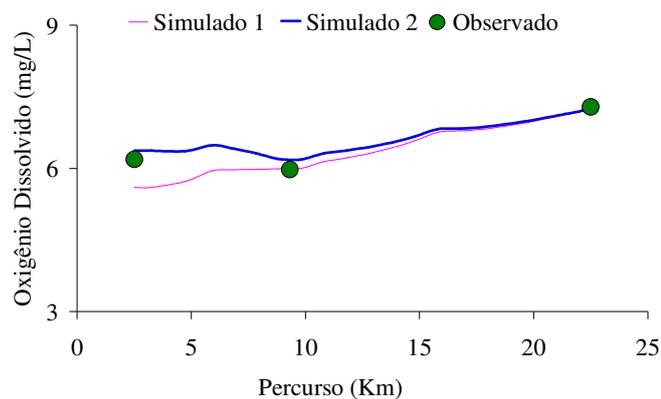


Figura 79: Perfil longitudinal do Oxigênio Dissolvido (OD) observados e simulados no rio Coxipó

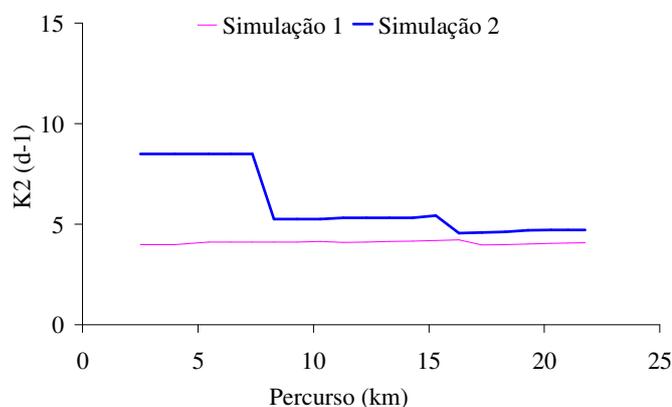


Figura 80: Perfil longitudinal do coeficiente de reaeração (K_2) obtido pelas equações (Simulação 1) e por aproximações sucessivas (Simulação 2)

Tabela 66: Resultados das Simulações de OD (mg/L) no período chuvoso, para dois métodos de obtenção de K_2

Percurso (km)	OD (mg/L) Obs.	Para K_2 obtido por Equações		Para K_2 obtido por aproximações sucessivas	
		OD (mg/L) Sim.	Resíduo (%)	OD (mg/L) Sim.	Resíduo (%)
22,5	7,29	7,29	0	7,29	0
9,32	5,98	6,00	0,33	6,19	3,4
2,51	6,19	5,60	10,54	6,37	2,8
Resíduo Médio			3,6		2,1

Tabela 67: Valores de K_2 utilizados nas Simulações

Trechos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_2 (Opção interna do Q2K)	4,1	4,1	4,0	3,9	3,9	4,2	4,2	4,1	4,1	3,9
K_2 (Aproximações sucessivas)	4,7	4,7	4,6	4,6	4,5	5,4	5,3	5,3	8,5	8,5

6.6 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

A partir do modelo calibrado, com K_2 obtido por meio de aproximações sucessivas, foram simulados cenários para o rio Coxipó com o objetivo de verificar a influência de algumas ações na bacia, assim como descritos no item 5.7,.

As simulações no período de estiagem compreendem os valores médios de DBO, oxigênio dissolvido e *E. coli*, assim como das características hidráulicas, entre os meses de maio a setembro de 2007, enquanto que para o período chuvoso, foram considerados, os meses de abril de 2007 e de outubro a dezembro de 2007. Os dados referentes aos meses de janeiro a abril de 2008, que se encontram dentro do período chuvoso estipulado neste estudo, não foram considerados nessas simulações, uma vez que as vazões observadas estavam muito acima dos valores obtidos entre os meses de setembro a dezembro de 2007, influenciando nos valores médios de vazão.

6.6.1 Simulação de cenários no período de estiagem

Na Figura 81 são apresentados os resultados dos vários cenários, em que o cenário 3 pode aumentar a concentração de Oxigênio Dissolvido em P1 em 1,7 mg/L, enquanto a concentração de DBO (Figura 82) pode ser reduzida em até 1,3 mg/L. Estes cenários favorecem positivamente a qualidade da água do rio Coxipó, contudo as melhorias com relação às duas variáveis possuem pouca expressividade. Isso pode ser decorrente do fato das variáveis DBO e oxigênio dissolvido não serem atualmente os principais problemas de qualidade da água para o rio Coxipó, onde intervenções para redução de carga orgânica na forma de DBO, apresentariam pouca influência em sua qualidade.

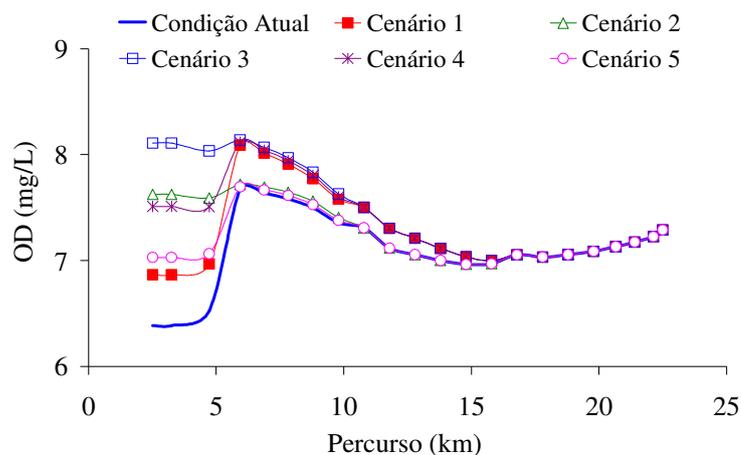


Figura 81: Perfil longitudinal do oxigênio dissolvido (OD) observados e simulados para diversos cenários

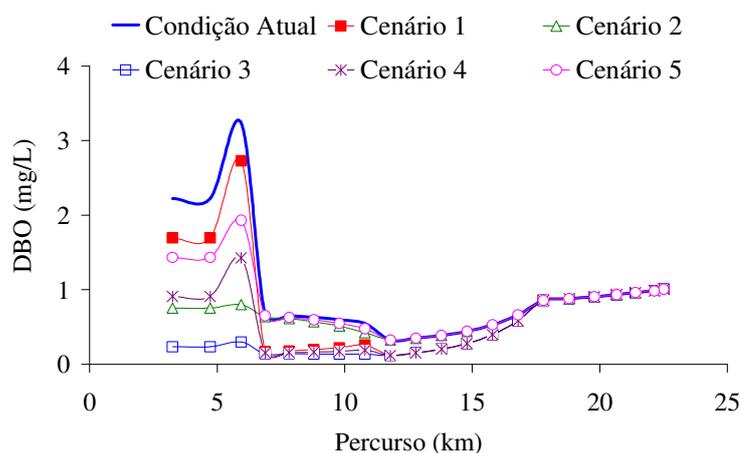


Figura 82: Perfil longitudinal de DBO observados e simulados para os diversos cenários

Na Figura 83 são apresentadas as variações espaciais das concentrações de *E. coli* para o rio Coxipó, para os vários cenários propostos, em que se verifica que a intervenção proposta pelo cenário 1, 3 e 4 podem elevar a classe de imprópria para própria segundo a Resolução CONAMA nº 274/2000, em todo o trecho modelado. Esta resolução estabelece os limites da concentração de organismos patogênicos, para águas de uso de recreação e de contato primário, onde as concentrações de *Escherichia Coli* que ultrapassam 2000 UFC/100mL são classificadas como águas impróprias. Salienta-se que ambos os cenários propõem o tratamento da poluição difusa com eficiência de remoção de *E. coli* da ordem de 90%. Dentre os sistemas de tratamento de esgotos apresentados na literatura, a grande maioria apresentam

eficiências na remoção de coliformes entre 70 e 98%, onde os mais eficiente, conforme cita von Sperling (1996) estão: lodos ativados aeração prolongada (93 a 98%), infiltração lenta (94 a 99%), infiltração subsuperficial (90 a 98%).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 classifica as águas em função de seus usos preponderantes, em que rios de Classe 1 e 2 não podem ultrapassar 1000 UFC/100 ml. Verifica-se que o Cenário 3, fornece características de rio classe 2 para o rio, no trecho modelado conforme mostra a Figura 83.

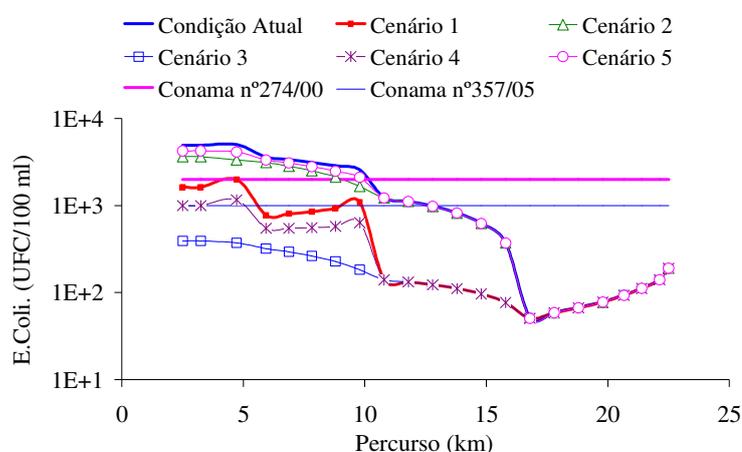


Figura 83: Perfil longitudinal de Escherichia Coli observados e simulados para os diversos cenários

6.6.2 Simulação de cenários para o período de estiagem para populações futuras

O crescimento populacional demanda por um volume maior de água que os dias atuais, o que acarreta uma maior produção de esgoto lançado nos mananciais. Esses incrementos de vazões de poluição difusa foram calculados conforme apresentado na metodologia e foram inseridas na bacia do córrego do Moinho e Castelhana como fontes pontuais, na foz dos referidos córregos.

Na Figura 84 são apresentadas os cenários de qualidade da água no rio Coxipó para as populações nos anos de 2017 (Cenário 6), 2027 (Cenário 7) e 2037 (Cenário 8).

Verifica-se para a variável DBO, uma queda na concentração de oxigênio dissolvido (Figura 84) de até 2,9 mg/L e elevação na concentração de DBO (Figura 85) na ordem de 4,02 mg/L, para o Cenário 8, ambas em P1.

Ressalta-se que as concentrações de oxigênio dissolvido e DBO durante o período de estiagem modelado (maio a setembro de 2007), estavam dentro dos limites preconizado para rios de classe 2, segundo a Resolução CONAMA n° 357/05, em P1. Contudo, conforme as simulações apresentadas, essas duas variáveis que estavam dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente, seriam alvo de elevações na concentração de DBO e diminuição nos teores de oxigênio dissolvido. Assim, as variáveis que não representavam problemas de ordem ambiental passariam a ser.

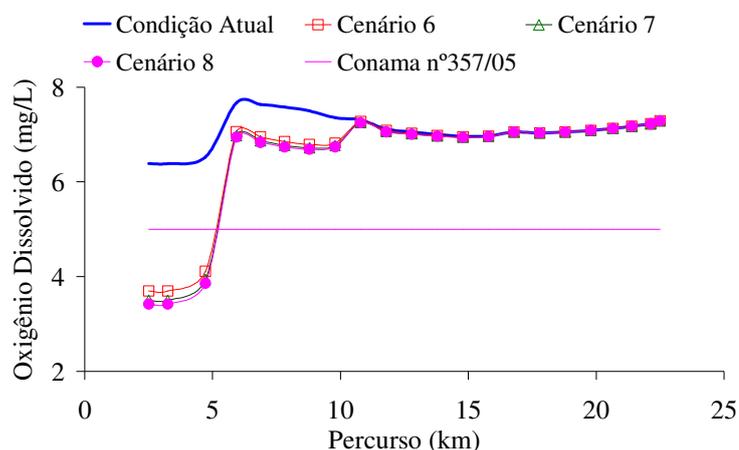


Figura 84: Perfil longitudinal do oxigênio dissolvido (OD) observados e simulados para populações futuras

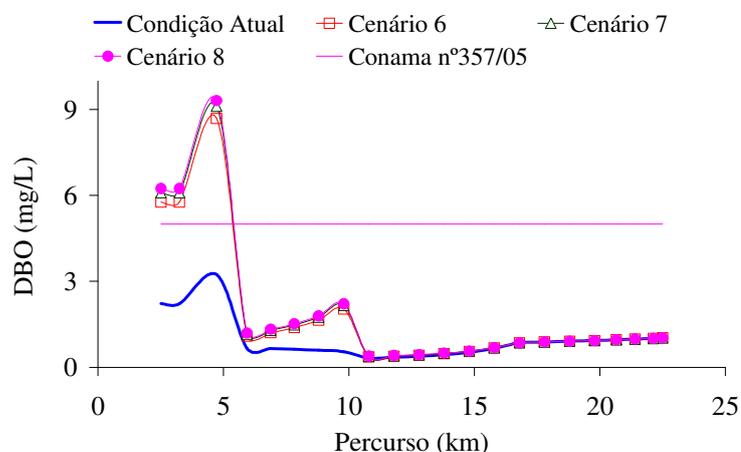


Figura 85: Perfil longitudinal de DBO observados e simulados para populações futuras

Para a variável E coli (Figura 86) a elevação proposta pelo Cenário 8 é da ordem de $3E+4$, em P1, onde as concentrações ultrapassam os valores máximos preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/05 e 274/00.

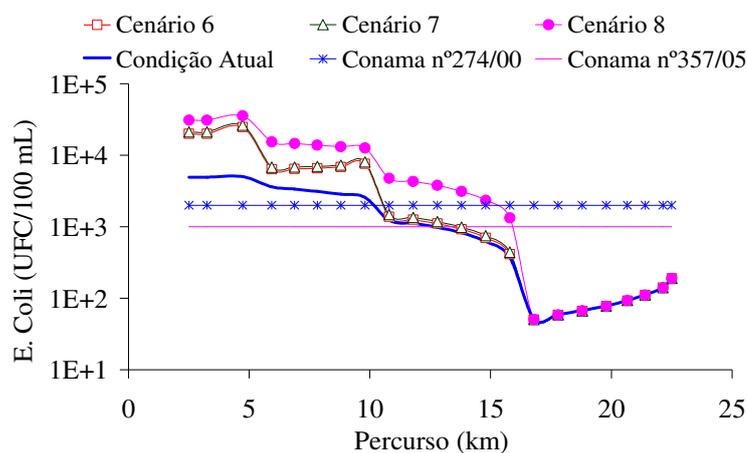


Figura 86: Perfil longitudinal de Escherichia coli observados e simulados para populações futuras

6.6.3 Simulação de cenários para o período chuvoso

Na Figura 87 são apresentados os resultados dos vários cenários, onde o Cenário 3 e 4, apresentaram pouca influência das intervenções na concentração de oxigênio dissolvido da ordem de 0,4 mg/L, contudo para a variável DBO (Figura 88) a redução da concentração de DBO pode alcançar 2 mg/L, para os mesmos cenários, em P1. Verifica-se que tanto na situação atual como nos cenários apresentados nas referidas Figuras, o rio Coxipó, apresenta características de rio de Classe 2, em P1, conforme Resolução CONAMA nº 357/05, com relação a variável oxigênio dissolvido e DBO.

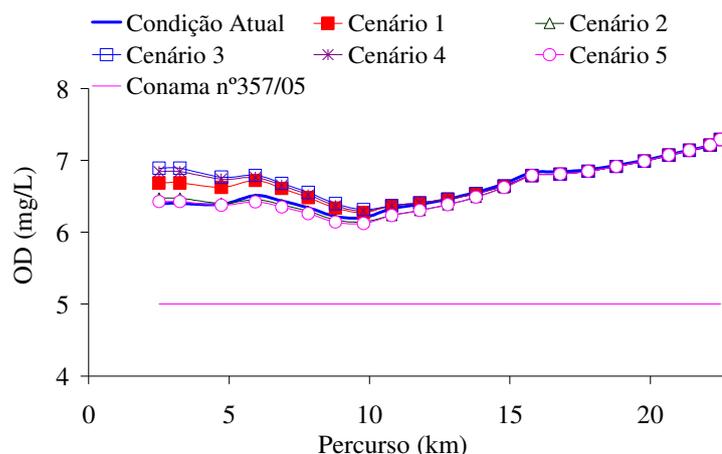


Figura 87: Perfil longitudinal do oxigênio dissolvido (OD) observados e simulados para diversos cenários

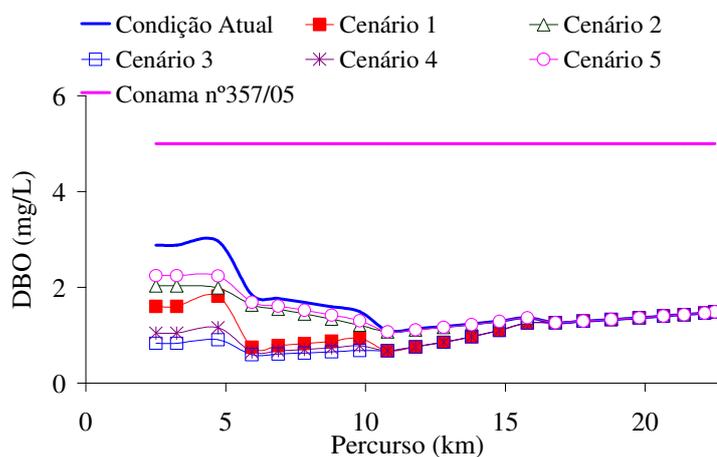


Figura 88: Perfil longitudinal de DBO observados e simulados para os diversos cenários

Na Figura 89 são apresentados os cenários da variação espacial da concentração de *E. coli* para o rio Coxipó, onde se verifica que as intervenções propostas pelos cenários 2, 3 e 4 permite que a água do rio Coxipó no trecho modelado, que atualmente é imprópria para a balneabilidade se torne própria, conforme estabelece a Resolução CONAMA nº 274/2000, no perímetro urbano.

Os cenários 2 e 3 permitem ainda que o rio Coxipó apresente características de rios de classe 2, em todo o trecho modelado, conforme Resolução CONAMA nº 357/05.

Salienta-se que, assim como observado para o período de estiagem, os cenários propostos sugerem tratamento de esgotos com remoção de coliformes da ordem de 90%. Onde o sistema de tratamentos apresentados no item anterior pode

influenciar de forma positiva a qualidade da água com relação à presença desse poluente.

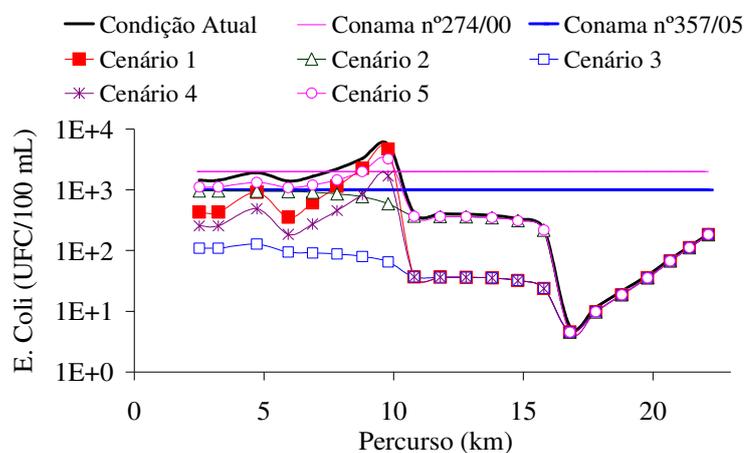


Figura 89: Perfil longitudinal de Escherichia coli observados e simulados para os diversos cenários

6.6.4 Simulação de cenários para o período chuvoso para populações futuras

Na Figura 89 são apresentadas os cenários de qualidade da água no rio Coxipó para as populações nos anos de 2017 (Cenário 6), 2027 (Cenário 7) e 2037 (Cenário 8). Em que se verifica uma queda na concentração de OD poderia ser de até 2,1 mg/L e elevação na concentração de DBO (Figura 91) de até 7,2 mg/L, para o Cenário 8, em P1.

Pode-se observar que com o crescimento populacional estimado, a concentração de OD em P1, poderia se reduzir a 4,3 mg/L, um pouco abaixo do limite mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/05, em P1.

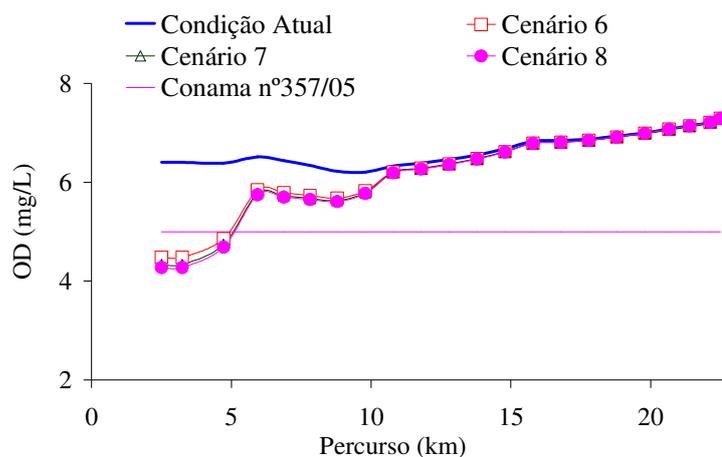


Figura 90: Perfil longitudinal do oxigênio dissolvido (OD) observados e simulados para populações futuras

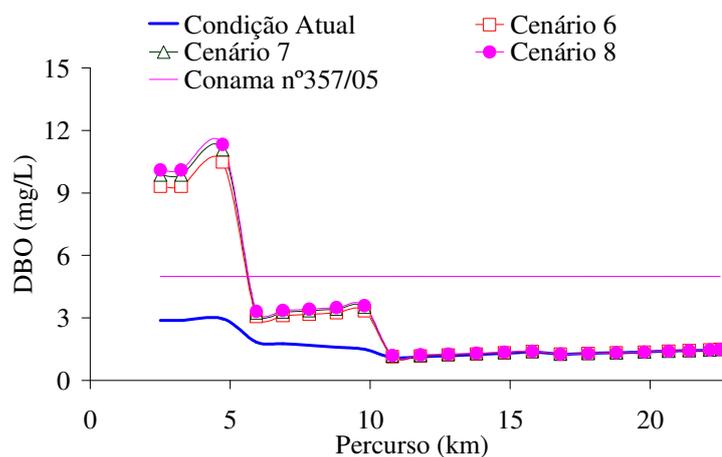


Figura 91: Perfil longitudinal de DBO observados e simulados para populações futuras

Para a variável *E. coli* (Figura 92) a elevação seria da ordem de $5E+3$, em P1, onde as concentrações de coliformes ultrapassariam as concentrações estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357/05, para rios de classe 2.

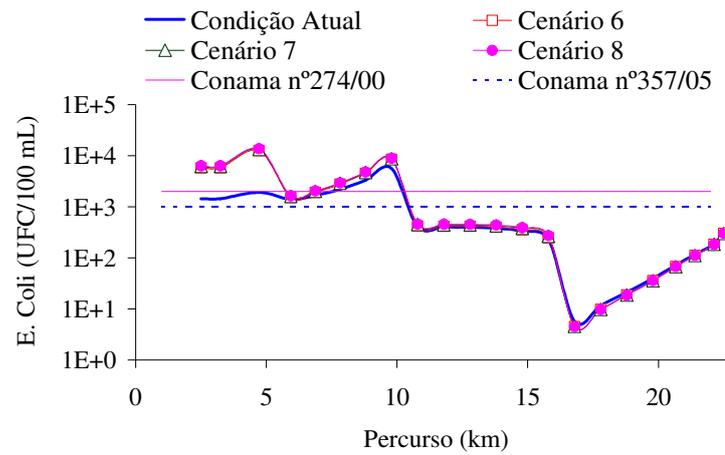


Figura 92: Perfil longitudinal de Escherichia Coli observados e simulados para populações futuras.

7 CONCLUSÕES

7.1 PRECIPITAÇÃO

O estudo das precipitações da Estação Climatológica da UFMT e do INMET, confirma que a sazonalidade da região é marcada por dois períodos distintos, o período chuvoso, compreendido entre os meses de outubro a abril, enquanto o período de estiagem foi compreendido entre maio a setembro.

7.2 QUALIDADE DA ÁGUA NOS CÓRREGOS

O córrego do Moinho apresentou maiores valores em P3 quando comparado a P2, para as variáveis turbidez, sólidos totais, sólidos em suspensão totais, DBO₅, fosforo, coliformes totais e *E. coli*. Já para o variável oxigênio dissolvido as concentrações aumentam de montante para jusante, o que pode ser decorrente do fenômeno de autodepuração, pois entre P2 e P3, a densidade demográfica diminui e apresenta uma área vegetada, o que pode ter resultado na melhoria da qualidade da água.

Quanto ao atendimento da Resolução CONAMA nº 357/2005, os córregos mantiveram-se de forma geral acima dos limites máximos estabelecidos para rios de classe 2, para as variáveis DBO₅, *E. coli* e fósforo, nitrogênio amoniacal, nitrito e abaixo do mínimo estabelecido para oxigênio dissolvido.

Com relação a balneabilidade as águas dentro do perímetro urbano, nos pontos monitorados são impróprias, devido às concentrações de *E. coli* fora dos padrões da legislação vigente.

Verificou-se ainda, que as variáveis DBO, pH, NTK e nitrogênio amoniacal foram mais elevados no período de estiagem, com fenômeno inverso para o parâmetro oxigênio dissolvido.

7.3 QUALIDADE DA ÁGUA NO RIO COXIPÓ

Houve um aumento nos valores de DQO, DBO, nitrito, turbidez, coliformes totais *E. coli* e fósforo, de montante em direção a jusante, e diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, no mesmo sentido. No período chuvoso, houve aumento de turbidez, sólidos totais, sólidos em suspensão, DBO, DQO e fósforo.

Os teores de Fósforo em algumas coletas foram superiores ao máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para rios de classe 2. Este resultado é de fundamental importância uma vez que é indicativo da possível eutrofização do manancial, fazendo-se necessário estudo mais aprofundado sobre o assunto.

A concentração de *E. coli* manteve-se na maioria das vezes abaixo do limite máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 357/005, para rios de Classe 2 somente no ponto P6, localizado na Ponte de Ferro, com posteriores elevações no perímetro urbano.

7.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

O índice de qualidade da água para o Ponto P6, em geral foi **Boa**, enquanto para os demais pontos no rio Coxipó a qualidade foi **Aceitável**. Verificou-se também que o parâmetro que mais influenciou na redução dos índices de qualidade foi a *E. coli*.

Para os córregos observou-se qualidade **Ruim** no ponto P2 e **Péssima** no ponto P3, onde os parâmetros responsáveis pela baixa qualidade da água foram principalmente: oxigênio dissolvido, DBO, fósforo e *E. coli*.

7.5 CALIBRAÇÃO DO MODELO QUAL2K

O modelo de qualidade Qual2K, foi calibrado para modelar a qualidade da água do rio Coxipó, com bons ajuste da DBO e OD, simuladas à observadas.

O método da aproximação sucessiva para a determinação do melhor K_2 , foi o que forneceu melhores resultados.

7.6 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

Conclui-se com a simulação de cenários que a bacia necessita de forte intervenção em saneamento para a melhoria da qualidade da água principalmente em termos de Coliformes, e que o crescimento populacional seguido de estagnação na área do saneamento poderá trazer a degradação dos recursos hídricos na bacia.

O modelo Q2K, devidamente calibrado pode ser uma ferramenta importante para a gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, juntamente como outras ferramentas, ficando a cargo das pessoas interessadas e responsáveis pelo setor maiores intervenções e estudos a respeito do tema.

8 RECOMENDAÇÕES

- ❑ Aumentar o número de pontos amostrais na bacia do rio Coxipó, incluindo pontos de monitoramento no município de Chapada dos Guimarães, de forma a conhecer o comportamento quali-quantitativo da água do rio Coxipó e seus principais tributários
- ❑ Fazer um levantamento de todos os usuários de água na bacia, de forma a obter um conjunto de informações mais completo para subsidiar modelos de qualidade de água e gerenciamento integrado quali-quantitativo da água na bacia.
- ❑ Investimentos em tratamento de esgoto, em que prioridade deve ser dada a bacia do córrego do Moinho, pois a mesma se encontra poluída, além de representar um importante tributário do rio Coxipó.
- ❑ Investimentos em tratamento de esgotos para remoção de matéria orgânica, uma vez que os resultados das simulações de cenários mostraram que com o crescimento populacional, o rio Coxipó poderá ter problemas com aumento nas concentrações de DBO.
- ❑ Dar preferências a sistemas de tratamento de esgotos que apresentem elevada eficiência na remoção de coliformes e nutrientes, uma vez que foi verificada também concentrações desses parâmetros acima dos valores máximos permitidos pela resolução vigente.
- ❑ Preservação da área com baixa densidade populacional entre os pontos P2 e P3, uma vez que existem indicativos que essa área favorece ao processo de autodepuração dos poluentes do córrego do Moinho.
- ❑ Maior estudo sobre autodepuração na bacia do córrego do Moinho identificando outros pontos críticos relacionados à poluição, importantes na tomada de decisões com relação ao saneamento.

- ❑ Determinação em campo dos coeficientes cinéticos, de forma que os modelos de qualidade de água possam ser calibrados com dados obtidos *in loco*.
- ❑ Sensibilização da sociedade em geral para a importância da melhoria da qualidade da água e sua importância fundamental na gestão dos recursos hídricos, para a melhoria da qualidade de vida atual e futura.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9.1 BIBLIOGRAFIAS CITADAS

American Public Health Association, AWWA American Water Works Association, WPCF Water Pollution Control Federation. Standard Methods, 20 ed. Ed. American Health Association. Washington, D. C. 1998.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Caderno da região hidrográfica do Paraguai** / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. - Brasil: MMA, 2006. 140 p.

ANA – AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Caderno de Recursos Hídricos, Brasília: Agência Nacional de Águas, 2005, 176p.

ALMEIDA FILHO, J. M. **A relação do uso e ocupação do solo na qualidade superficial na bacia do rio Coxipó**. 2003. 159f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

BÁRBARA, V. F. **Uso do modelo Qual2E no estudo da qualidade da água e da capacidade de autodepuração do rio Araguari – AP (Amazônia)**. 2006. 174f, Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006. Disponível em:

<<http://www.iepa.ap.gov.br/meteorologia/arquivopdf/DissertacaoViniciuFagundesBarbaraem.pdf>> Acesso em: 23 de julho de 2007.

BARBOSA J, A. R. Desenvolvimento de metodologia para a determinação de coeficiente de reaeração dos escoamentos naturais da água com o emprego de traçador gasoso. 1989. 197f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

BARBOSA J, A. R. Uso de traçadores na determinação de parâmetros de qualidade em escoamentos naturais de água. 1997. 499 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

BOWIE, L.G.; MILLIS, W.B.; PORCELLA, D.B.; CAMPELL, C.L.; PAGENKOPF, J.R.; RUPP, G.L.; JOHNSON, K.M.; CHAN, P.W.H.; GHERINI, S.A. Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling. Athens, Geórgia: EPA 600/3-85/040. 1985. Disponível em:<http://www.ecy.wa.gov/programs/eap/models/rates_and_constants/Sect3-6.pdf>. Acesso em: 21/11/07

BRASIL. Resolução CONAMA n°. 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre as classificações dos corpos' água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outra providencias.

_____. Resolução CONAMA n° 274 de 29 de novembro de 2000. Revoga os artigos 26 a 34 da Resolução n.º 20/86 (revogada pela Resolução n.º 357/05) e Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras.

_____. Lei N° 9433, de 08 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1° da Lei

nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

CARDOSO, C. A., Dias, H. C. T., Soares, C. P. B., Martins, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de práticas sedimentométricas**, Brasília: Aneel, 2000a, 132 p. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/GuiaSed.pdf> . Acesso em: 20 de janeiro de 2008.

_____. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**, Brasília: Aneel, 2000b, 154 p. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/GuiaAsso.pdf>> Acesso em: 20 de janeiro de 2008.

CHAPRA, S.C., PELLETIER, G.J. and TAO, H. **QUAL2K: A modeling framework for simulating river and stream water quality**. Version 2.04: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, A.2006.

CHAPRA, S.C. **surface water quality modelling**. New York: McGraw-Hill, 1997, 844p.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá. **Perfil socioeconômico dos bairros de Cuiabá**. 2007. IPDU - Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. Cuiabá: 2007a. 124p.

_____. Prefeitura Municipal de Cuiabá. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano-IPDU, Diretoria de Pesquisa e Informação – DPI. **Perfil socioeconômico de Cuiabá** – Volume III -- Cuiabá, MT : Central de Texto, 2007**b**.

_____, Prefeitura Municipal de Cuiabá, Companhia de Saneamento da Capital - SANECAP: **Relatório de gestão - Janeiro a Maio/2007c**, Disponível em: <http://www.sanecap.com.br/download/relatorio_jan_maio_07.pdf>. Acesso em: 07 de janeiro de 2008.

_____, Prefeitura Municipal de Cuiabá, Companhia de Saneamento da Capital - SANECAP: **Estações de tratamento de esgoto**. Disponível em: <<https://sanecap.locaweb.com.br/produtos.php?IDCategoria=283>> acesso em: 12/9/2007**d**.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. User Manual – Help Onlne, version 3.2, Inc., 1999. Disponível: <<http://www.esri.com>>. Acesso em: 15/11/2005.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed., Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FELGUEIRAS, C. A, CÂMARA, G. (2001). **Modelagem numérica de terreno**. In: Introdução à Ciência da Geoinformação. Org. CÂMARA, G, MONTEIRO, C. D. M. V. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2008.

FONSECA, M. **Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada Cuiabana..** 2008, 72f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2008.

FRACARO, N. V., (2005). **Diagnóstico sócio-ambiental do trecho superior da bacia do rio Vitorino - sudoeste do Paraná**, 2005, 88f. Dissertação (Mestrado em

Ciências do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/handle/1884/3457>> Acesso em: 20 de janeiro de 2008.

GARCIA, R. L. ; TUCCI, C.E.M. 2000. Simulação da qualidade da água em rios em regime não-permanente: rio dos Sinos. In: **Recursos Hídricos**: Lisboa Vol. 21 n.2 (2000) 0-17-26. Disponível e: <<http://www.rhama.net/download/artigos/artigo26.pdf>>. Acesso em: 20 de junho de 2007.

GASTALDINI, M. C. C, TEIXEIRA, E. C. Avaliação da qualidade da água. Capítulo 16. In: PAIVA, J.B.D, PAIVA, E.M.C.D. (Org.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias**. Reimpressão ver. Aum. Porto Alegre: ABRH, 2003.

GASTALDINI, M. C. C, OPPA, L. F., MISSIO, D. Modelagem da qualidade da água do rio Vacacaí Mirim. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24., 2007. Minas Gerais. **Anais...** Minas Gerais: ABES, 2007. CD ROM.

GOMES, P. G. **Sistema de Abastecimento de água**: Dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias. 2 ed., Ver. Aum. – João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 2004, 242p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades@. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/default.php>> Acesso em: 10 de março de 2008.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Boletim da Estação 2504600 Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Delegacia Federal da Agricultura – DFA/MT, 9.º Distrito de Meteorologia, 2000.

JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**: concepções clássicas do tratamento de esgotos. S. Paulo: CETESB, 1975, 544p.

LIBOS, M. I.P.C **Modelagem da Poluição Não Pontual na Bacia do Rio Cuiabá Baseada em Geoprocessamento.**. 2002. 269f . Mestrado (Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro. 2002

LIMA, C.A. A.; **O uso do modelo Q2K na simulação da qualidade das águas do rio Jacaré – Guaçú.** 1997, 177f. Dissertação (Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1997.

LIMA, E. B. N. R. **Modelagem integrada para gestão da qualidade de água na bacia do rio Cuiabá.** 2001. 206f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/teses/doutorado/rh/2001/teses/RONDON%20LIMA_EBN_02_t_D_est.pdf>. Acesso em: 15 de janeiro de 2006.

LIMA, J. B. **Impactos das atividades antrópicas sobre a comunidade dos macroinvertebrados bentônicos do rio Cuiabá no perímetro urbano das cidades de Cuiabá e Várzea Grande.** 2002. 145 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). – Universidade de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, São Carlos, 2002.

MACHADO, W. C. P. **Indicadores da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Pato Branco.** 2006, 315f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/handle/1884/10963>>. Acesso em: 03 de janeiro de 2008.

MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEMA, Superintendência de Recursos Hídricos. **Relatório de balneabilidade das praias do Estado de Mato Grosso,** 2005. Cuiabá: SEMA; SURH, 2006. 49p.: il. Colot.; 29cm. Disponível em: <www.sema.gov.br>. Acesso em: 15 de janeiro de 2008.

MAIER, M. H., 1978, “**Considerações sobre Características Limnológicas de Ambientes Lóticos**”, B. Inst. Pesca, pp. 75-90.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 25 abr. 2007.

MORAES, R. I. **Monitoramento e avaliação da estação de tratamento de Esgoto do Tijucal**. 2006. Monografia (Engenharia Sanitária - Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2006.

PARK, S.S.; LEE, Y. S. A water quality modeling study of the Nakdong River, Korea. **Ecological Modelling**. 152, (2002) 65-75p. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VBS-44VX0SX-3e_user=686451e_coverDate=06%2F15%2F2002e_rdoc=1e_fmt=e_orig=searche_sort=deview=ce_acct=C000037559e_version=1e_urlVersion=0e_userid=686451emid5=3b8debf10fa9ca2bfba95759489b74d1. Acesso em: 10 de janeiro de 2006.

PASSARINI, K. C.; BARBASSA, A. P. Avaliação da qualidade da água do escoamento superficial direto da eficiência de infiltração na remoção de poluentes. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 4., 2007, São Carlos. **Anais...** U FSCar. v. 3, p. 1786, 2007.

RADAMBRASIL, Levantamento de Recursos Naturais, v. 26, Folha SD. 21, Cuiabá, 1982.

RODRIGUES, R. B. SSD RB - **Sistema de Suporte a Decisão Proposto Para a Gestão Quali-Quantitativa dos Processos de Outorga e Cobrança Pelo Uso da Água**. 2005. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-16092005-135904/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2006.

SANTOS, A. F. **Práticas da agricultura familiar, o uso e ocupação do solo e qualidade da água: a bacia hidrográfica do rio pequeno - São José dos Pinhais – PR.** 2006, 213f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/bitstream/1884/5988/1/Pr%C3%A1ticas%20da%20Agricultura%20familiar,%20uso%20e%20ocupa%C3%A7%C3%A3o%20do%20solo%20e%20q.pdf>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2008.

SANTOS, A.A. **Qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá-MT.** 2008. 148p. Dissertação (mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso. 2008.

SEPLAN (2000). **Zoneamento sócio-econômico-ecológico: diagnóstico sócioeconômico- ecológico do estado de mato grosso e assistênciatécnica na formulação da 2ª aproximação. Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do estado de Mato Grosso Parte 2: Sistematização das Informações Temáticas nível compilatório.**

SETTI, A. A., LIMA, J. E. F. W., CHAVES, A. G. M. PEREIRA. I. C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos.** 2ª ed. – Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. 207 p. : il. ; 23 cm.

SIBAC - **Sistema de Monitoramento Integrado da Bacia do Rio Cuiabá, 2008**,Disponível em:< <http://www.geohidro.ufmt.br/recursos/busca/index.php>> . Acesso em: 15 de outubro de 2007.

SILVA, N. A. **Caracterização de impactos gerados pela piscicultura na qualidade da água: estudo de caso na bacia do rio Cuiabá/MT.** 2007. 105f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007. Disponível em: <<http://www.pgfma.ufmt.br/>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2008.

SILVA, A. E. P, ANGELIS, C. F, MACHADO, L. A. T. Influência da precipitação na qualidade da água do rio Purus. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis.:INPE, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n5/3051.pdf>>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2008.

SILVEIRA, A. **Influência da umidade atmosférica sobre o mecanismo de transferência de gases através da interface água-atmosfera.** 2004.137f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

SOBRINHO, N. B F. **Avaliação da qualidade da água do rio coxipó no perímetro urbano da cidade de Cuiabá – MT.** 2006. Monografia (Engenharia Sanitária - Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá, MT, 2006.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Estudos e modelagem da qualidade da água em rios.** 1 ed. v. 7. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2007, 588p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto.** 2 ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996,196p.

ROCHA, J. P. G. **Avaliação das ações antrópicas no meio físico a partir dos impactos sedimentológicos na bacia do rio Coxipó.** 2003.129f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

SETTI, A. A, LIMA, J. E. F. W, CHAVES, A. G. M, PEREIRA, I. C. P. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2ª ed. – Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. 207 p. : il. ; 23 cm.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas**. 2005. 85f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa - Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Viçosa, MG, 2005.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia Aplicada*. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil. 245p., 1975.

9.2 BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

Guia Rápido do Usuário QUAL2K – Disciplina ENS 5118. 2 Adapted de “Chapra, S.C., Pelletier, G.J. and Tao, H...QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.04: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.2006.

MORAES, R. I. **Monitoramento e avaliação da estação de tratamento de Esgoto do Tijucal**. 2006. Monografia (Engenharia Sanitária - Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2006.

SANTOS, I. et al. **Hidrometria Aplicada**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, LACTEC, 2001, 372p.

TRIOLA, M.F. **Introdução à estatística**. 7 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1999.

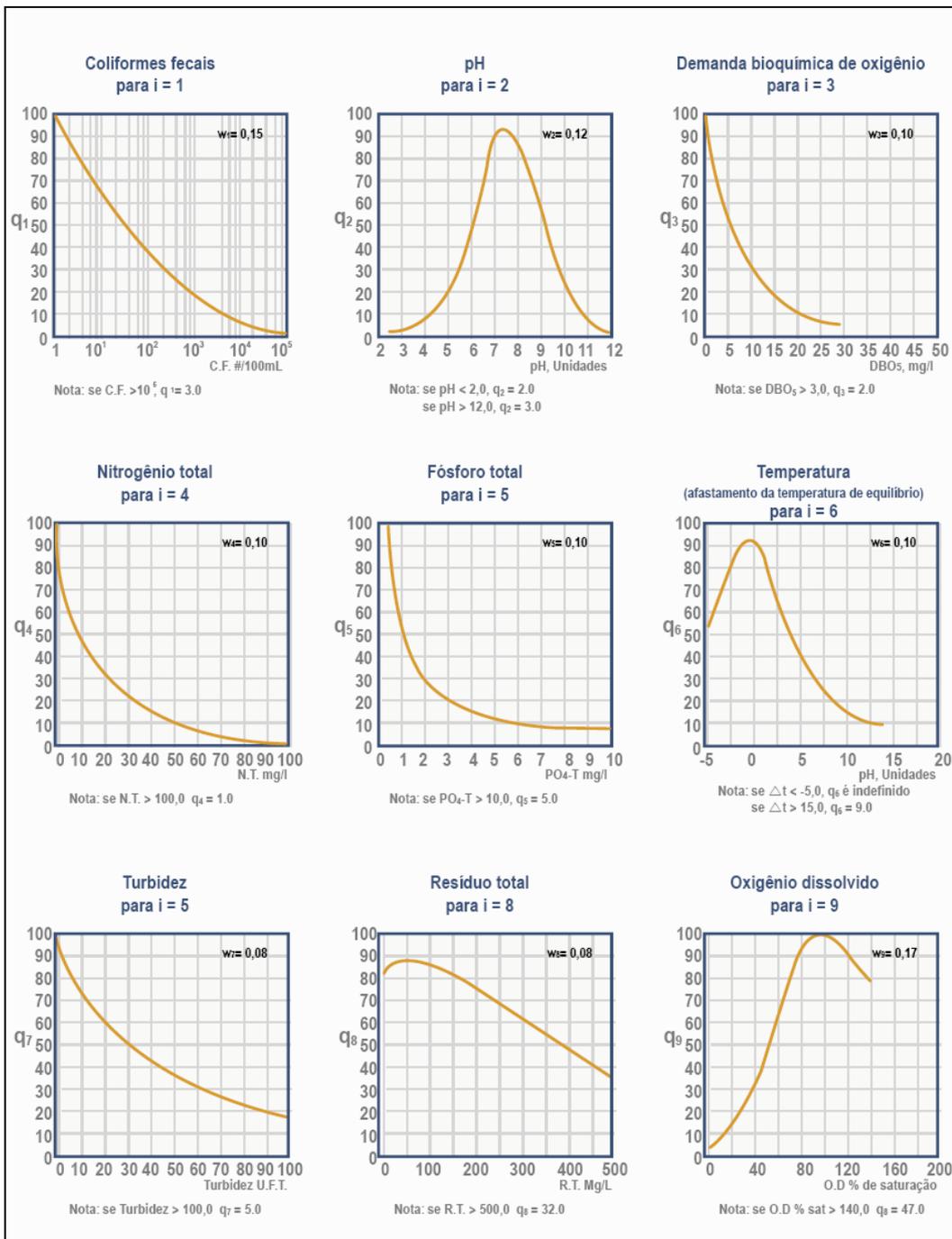
PIMPÃO, H. CUTRIM, J. F. LIPORONI, L. M. **Medição de vazão líquida e descarga sólida**. Coord. Professor Dr. Alexandre Silveira. Projeto de Pesquisa: Monitoramento da quantidade e da qualidade da água na bacia rio Coxipó (Cuiabá-MT) e implementação da gestão participativa dos recursos hídricos. Cuiabá, 2007, 20p.

SILVEIRA, A. **Monitoramento da quantidade e da qualidade da água na bacia Rio Coxipó (Cuiabá-MT) e implementação da gestão participativa dos recursos hídricos**. Projeto elaborado de acordo com as especificações constantes no edital MCT/CNPq/CT-Hidro/CT-Agronegócio nº 05/2006 – Seleção Pública de propostas para Apoio ao Desenvolvimento Científico, Tecnológico e de Inovação para a Racionalização do Uso da Água e Inclusão Social no Meio Urbano e Peri-urbano

SILVEIRA, A. SILVA, N. A. DOURADO, M. R. OLIVEIRA, J. T. **Roteiro de análises físico-químicas e bacteriológicas**. Coord. Professor Dr. Alexandre Silveira. Projeto de Pesquisa: Monitoramento da quantidade e da qualidade da água na bacia rio Coxipó (Cuiabá-mt) e implementação da gestão participativa dos recursos hídricos. Cuiabá, 2007, 59p.

SILVEIRA, A. ALVES, E.C.R.F. SILVINO, A.N.O. LIMA, E.B.N.R. SILVA, N. A. POTYKYTÃ, A. BÔAS, E. V. OLIVEIRA, J. T. LIPORONI, L. M. OLIVEIRA, F.S.O. PIMPÃO, H. REZENDE, L. CUTRIM, J. F. PITT, T.R. PAES, R.P. **Informações sobre a bacia do rio Coxipó**. Coord. Professor Dr. Alexandre Silveira. Projeto de Pesquisa: Monitoramento da quantidade e da qualidade da água na bacia rio Coxipó (Cuiabá-MT) e implementação da gestão participativa dos recursos hídricos. Cuiabá, 2008, 32p.

10 Anexo 1



Fonte: Imap, 2003 apud ANA 2005.