

**"EFEITOS DAS VARIÁVEIS ECOLÓGICAS NA
DISPONIBILIDADE E QUALIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR
SUBAQUÁTICA EM ECOSISTEMAS ARTIFICIAIS
(RESERVATÓRIOS DE BARRA BONITA E DO LOBO)"**

SONIA LUIZ RODRIGUES

DEDALUS - Acervo - EESC



31100036270

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Galizia Tundisi

São Carlos
1997



Class. TQ56 - 90 9
Cutt. R. 4923
Tombo 189/97

3110003270

st 093431 f

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

Rodrigues, Sonia Luiz
R696e. Efeitos das variáveis ecológicas na disponibilidade e qualidade da radiação solar subaquática em ecossistemas artificiais (Reservatórios de Barra Bonita e do Lobo) / Sonia Luiz Rodrigues. -- São Carlos, 1997.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1997.
Área: Hidráulica e Saneamento
Orientador: Prof. Dr. José Galizia Tundisi

1. Luz solar subaquática. 2. Espectro.
3. Atenuação. I. Título

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Licenciada **SONIA LUIZ RODRIGUES**

Dissertação defendida e aprovada em 20-10-1997
pela Comissão Julgadora:



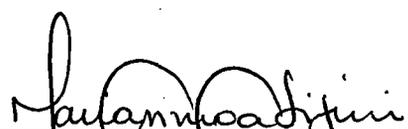
Prof. Titular **JOSÉ GALIZIA TUNDISI (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



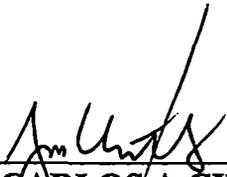
Prof. Doutor **SALVADOR AIRTON GAETA**
(Instituto Oceanográfico - Universidade de São Paulo)



Profa. Doutora **ELIZABETH AIDAR**
(Instituto Oceanográfico - Universidade de São Paulo)



Profa. Doutora **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Coordenadora da Área de Ciências da Engenharia Ambiental



JOSÉ CARLOS A CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

DEDICATÓRIA

Aos meus entes queridos, que Deus, misericordioso, me presenteou, nesta passagem, para que pudéssemos caminhar e crescer juntos...

Muitas coisas diremos nós, e ainda nos veremos alcançados em palavras, mas o resumo de tudo o que se pode dizer é que Ele mesmo está em todas as coisas. (Eclesiástico, 43:29)

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial, misericordioso e bondoso, que sempre nos ilumina e ampara.

Ao Professor Doutor José Galizia Tundisi, pela excelente orientação dedicada durante a elaboração deste trabalho, e pelo apoio e entendimento nos momentos mais delicados de minha caminhada.

À Profa. Dra. Maria do Carmo Calijuri, que sempre esteve presente, me auxiliando e me apoiando.

À Profa. Dra. Evlyn Marcia Leão de Moraes Novo, pela solicitude atenção e apreço.

À Profa. Dra. Takako Matsumura-Tundisi, por sua atenção, colaboração e amizade.

A todos os funcionários do Centro e Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), que não mediram esforços para a concretização deste trabalho.

Aos colegas e professores do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), pela amizade e incentivo.

Ao Sr. José Roberto Placeres pela elaboração dos desenhos e ao digitador Sr. Walter Decio Fernandes Andrade, pela atenção e amizade.

Ao CNPq, pelo apoio, sem o qual este trabalho não poderia ser realizado.

Ao D.A.E.E. (Departamento de águas e energia elétrica) do Estado de São Paulo, que forneceu os dados hidrometeorológicos da represa de Barra Bonita.

Ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), que cedeu as imagens de satélite das represas de Barra Bonita e do Lobo.

À Elza Montoro, que contribuiu para que meu ambiente familiar mantivesse harmonioso e sereno.

À Francilla e Julliana, filhas especiais, que sempre me apoiaram e me incentivaram, carinhosamente, possibilitando que eu superasse todos os obstáculos. E ao meu esposo José Francisco e à minha mãe Amélia, pela compreensão nas horas difíceis.

A todos aqueles que de alguma forma, contribuíram para que este trabalho se concretizasse.

Aos leitores.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE SÍMBOLOS	xix
RESUMO	xxi
ABSTRACT	xxii
1 INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	9
2.1 Objetivo Principal	9
2.2 Objetivos Específicos	9
3 TEORIA BÁSICA	11
3.1 Radiação Solar: Conceitos Fundamentais	11
3.2 Radiação Solar na Superfície Terrestre	14
3.3 Radiação Solar no Meio Aquático	17
3.4 Atenuação da Luz Solar no Meio Aquático	19
3.4.1 Clima de radiação solar subaquática	26
3.4.2 Zona eufótica e transparência da água	29
4 MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1 Caracterização do Ambiente de estudo	33
4.1.1 Represa do Lobo (Broa)	33
4.1.2 Represa de Barra Bonita	38
4.2 Metodologia	42
4.2.1 Considerações gerais	42
4.2.2 Variáveis climatológicas	43
4.2.3 Variáveis abióticas: físicas e químicas	44
4.2.3.1 pH, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido e temperatura da água	44
4.2.3.2 Concentração de material em suspensão	44
4.2.4 Transparência da água	45
4.2.5 Radiação solar subaquática	46
4.2.6 Medida da penetração de luz subaquática	46
4.2.7 Determinação da absorvância da água na coluna d'água	47
4.2.8 Variáveis bióticas: clorofila e feofitina	48
5 RESULTADOS	51

5.1	Determinação da Profundidade da Zona Eufótica	51
5.2	Composição da Atenuação da Luz Subaquática	54
5.3	Relações entre Transparência da Água, Profundidade da Zona Eufótica e Coeficiente de Atenuação Total da Luz	58
5.4	Relações entre a Atenuação da Luz e as Concentrações de Material em Suspensão e de Clorofila Total na Coluna D'Água	62
5.5	Perfis da Radiação Fotossinteticamente Ativa - R.F.A.	91
5.6	Perfis Térmicos	103
5.7	Determinação de Outras Variáveis Físicas e Químicas (Variáveis Abióticas)	109
5.8	Determinação das Condições Meteorológicas no Período de Estudo	120
6	DISCUSSÃO	141
6.1	Considerações Gerais	141
6.2	O Clima da Radiação Solar Subaquática	141
6.3	Comparações Metodológicas	143
6.4	Regime de Luz: Estudo Comparativo nas Represas de Barra Bonita e do Lobo	151
6.4.1	Relação $\bar{Z}_{eu}/Z_{máx}$.	152
6.4.2	Contribuição dos componentes da atenuação da luz no sistema aquático e sua conseqüente distribuição espectral na coluna d'água	154
6.4.3	O clima de radiação solar subaquática nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo	163
6.5	Outros Estudos na Literatura	170
6.6	Aplicações	173
6.6.1	Considerações gerais	173
6.6.2	Utilização do sensoriamento remoto em estudos limnológicos	174
7	CONCLUSÃO	181
8	PERSPECTIVAS	191
	BIBLIOGRAFIA	193
	ANEXO	201

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 01 - Faixas espectrais das radiações ultravioleta, visível e infravermelho 13
- FIGURA 02 - Distribuição espectral da radiação solar extraterrestre, da radiação solar ao nível do mar num dia sem nuvens, da luz solar de um céu totalmente encoberto e da luz solar que penetra através da vegetação. Cada curva representa a energia que incide sobre uma superfície horizontal (DE GATES, 1965) 15
- FIGURA 03 - Reflexão e refração da luz na superfície de separação ar-água 18
- FIGURA 04 - Principais fenômenos que ocorrem com a radiação solar incidente sobre o corpo d'água. 1) Radiação que não é absorvida, é apenas espalhada; 2) Ao incidir sobre um composto ou material em suspensão, parte é absorvida e parte é novamente espalhada; 3) A radiação espalhada pode retornar à atmosfera; 4) A radiação pode passar por processos sucessivos de espalhamento e absorção, até ser totalmente atenuada 19
- FIGURA 05 - Dois possíveis estados de excitação de um elétron por absorção de um fóton com comprimentos de onda λ_1 e λ_2 , respectivamente 21
- FIGURA 06 - Implicações ópticas da medida da profundidade Secchi, ZDS, em ambientes de águas claras (A) e de águas turbidas (B) 31
- FIGURA 07 - Represa do Lobo (Broa). Principais formadores, morfometria, limite de macrófitas, direção dos ventos predominantes e estações de coleta (A e B). Sua localização no estado de São Paulo 34
- FIGURA 08 - Vista parcial da margem da Represa do Lobo, nas imediações do ponto A, de coleta, com profundidade de aproximadamente 6,0m (em 05/03/96) 35
- FIGURA 09 - Vista parcial da Represa do Lobo, nas proximidades do ponto de coleta B, com praticamente 1,40m de profundidade (em 04/03/96). Região caracterizada por reflorestamento e crescimento de macrófitas 37
- FIGURA 10 - Localização da represa de Barra Bonita no Estado de São Paulo e a indicação do ponto de coleta (↓) 39
- FIGURA 11 - Vista parcial da represa de Barra Bonita, nas proximidades do ponto de coleta com profundidade de aproximadamente 24,0 m de profundidade (em 23/02/96). Caracterização da monocultura de cana-de-açúcar pela

	extensão da represa de Barra Bonita	40
FIGURA 12 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão	63
FIGURA 13 -	Atenuação da intensidade luminosa total e seletiva na represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão	64
FIGURA 14 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão	65
FIGURA 15 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão	65
FIGURA 16 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão	66
FIGURA 17 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão	66
FIGURA 18 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno ..	67
FIGURA 19 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno	68
FIGURA 20 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno ..	69
FIGURA 21 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno	69
FIGURA 22 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade na represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno ..	70
FIGURA 23 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno	70
FIGURA 24 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão	72
FIGURA 25 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão	72

FIGURA 26 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão	73
FIGURA 27 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão	74
FIGURA 28 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão	75
FIGURA 29 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão	75
FIGURA 30 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno	77
FIGURA 31 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno	77
FIGURA 32 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno	79
FIGURA 33 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno	79
FIGURA 34 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno	80
FIGURA 35 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno	81
FIGURA 36 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão	82
FIGURA 37 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão	82
FIGURA 38 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do	

	Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão	83
FIGURA 39 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão	84
FIGURA 40 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão	85
FIGURA 41 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão	85
FIGURA 42 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno	87
FIGURA 43 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno	87
FIGURA 44 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno	88
FIGURA 45 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno	89
FIGURA 46 -	Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno	90
FIGURA 47 -	Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno	90
FIGURA 48 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa de Barra Bonita em 23/02/96 às 09:00h (Período chuvoso) - Verão	91
FIGURA 49 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa de Barra Bonita em 23/02/96 às 12:00h (Período chuvoso) - Verão	92
FIGURA 50 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa de Barra Bonita em 23/02/96 às 15:00h (Período chuvoso) - Verão	93
FIGURA 51 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa de Barra Bonita em	

	01/08/96 às 09:00h (Período seco) - Inverno	93
FIGURA 52 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa de Barra Bonita em 01/08/96 às 12:00h (Período seco) - Inverno	94
FIGURA 53 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa de Barra Bonita em 01/08/96 às 15:00h (Período seco) - Inverno	95
FIGURA 54 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96 às 09:00h (Período chuvoso) - Verão	95
FIGURA 55 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96 às 12:00h (Período chuvoso) - Verão	96
FIGURA 56 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96 às 15:00h (Período chuvoso) - Verão	97
FIGURA 57 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96 às 09:00h (Período seco) - Inverno	97
FIGURA 58 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96 às 12:00h (Período seco) - Inverno	98
FIGURA 59 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96 às 15:00h (Período seco) - Inverno	98
FIGURA 60 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96 às 09:00h (Período chuvoso) - Verão	99
FIGURA 61 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96 às 12:00h (Período chuvoso) - Verão	100
FIGURA 62 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96 às 15:00h (Período chuvoso) - Verão	100
FIGURA 63 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96 às 09:00h (Período seco) - Inverno	101
FIGURA 64 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96 às 12:00h (Período seco) - Inverno	101
FIGURA 65 -	Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96 às 15:00h (Período seco) - Inverno	102
FIGURA 66 -	Perfis Térmicos e velocidade média do vento a 1,0 m e a	

	10,0 m da superfície, na estação de estudo da represa de Barra Bonita em 23/02/96 (Período chuvoso) - Verão, entre 09:00h e 15:00h	103
FIGURA 67 -	Perfis Térmicos e velocidade média do vento a 1,0m e a 10,0m da superfície, na estação de estudo da represa de Barra Bonita em 01/08/96 (Período seco) - Inverno, entre 09:00h e 15:00h	104
FIGURA 68 -	Perfis Térmicos e velocidade do vento a 10,0 m da superfície, na estação de estudo da represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96 (Período das águas) - Verão, nos horários: 09:00h, 12:00h e 15:00h	105
FIGURA 69 -	Perfis Térmicos e velocidade do vento a 10,0 m da superfície, na estação de estudo da represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96 (Período seco) - Inverno, nos horários: 09:00h, 12:00h e 15:00h	106
FIGURA 70 -	Perfis Térmicos e velocidade do vento a 10,0 m da superfície, na estação de estudo da represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96 (Período das águas) - Verão, nos horários: 09:00h, 12:00h e 15:00h	107
FIGURA 71 -	Perfis Térmicos e velocidade do vento a 10,0 m da superfície, na estação de estudo da represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96 (Período seco) - Inverno, nos horários: 09:00h, 12:00h e 15:00h	108
FIGURA 72 -	Direção do vento na represa do Lobo, no período de 08:00h às 22:00h, nos dias 03, 04 e 05/03/96 - Verão: Período chuvoso	130
FIGURA 73 -	Velocidade do vento, em m/s, na represa do Lobo no período entre 08:00h e 22:00h, nos dias 03, 04 e 05/03/96 - Verão: Período chuvoso	131
FIGURA 74 -	Direção do vento na represa do Lobo, pelo período de 08:00h às 22:00h, nos dias 25 e 26/09/96 - Inverno: Período seco	132
FIGURA 75 -	Velocidade do vento, em m/s, na represa do Lobo no período entre 08:00h e 22:00h, nos dias 25 e 26/09/96 - Inverno: Período seco	133
FIGURA 76 -	Direção do vento na represa do Lobo, no período de 08:00h às 22:00h, nos dias 29 e 30/09/96 - Inverno: Período seco	134
FIGURA 77 -	Velocidade do vento, em m/s, na represa do Lobo, no período entre 08:00h e 22:00h, nos dias 29 e 30/09/96 - Inverno: Período seco	135
FIGURA 78 -	Representação da atenuação vertical da luz e da circulação da massa de água na represa de Barra Bonita no verão (I) e no inverno(II)	138

FIGURA 79 - Representação da atenuação vertical da luz e da circulação da massa de água na represa do Lobo no inverno	139
FIGURA 80 - Resposta típica do sensor quântico do Quanta-meter LI-COR, em relação ao comprimento de onda e a resposta ideal (Dados do manual do aparelho Quanta-meter LI-COR, Brochure RS2-279)	145
FIGURA 81 - Penetração de luz relativa em diversos ecossistemas aquáticos (águas costeiras, estuário e reservatório raso, turbulento) transmissão 480 a 700 nm	171
FIGURA 82 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa na faixa do azul (○), do verde (●) e do vermelho (Δ) em águas oceânicas e em três sistemas de águas interiores	172
FIGURA 83 - Localização da represa de Barra Bonita e sua vizinhança .	176
FIGURA 84 - Localização da represa do Lobo e sua vizinhança	177
FIGURA 85 - Distribuição espacial do nível de turbidez da água na represa do Lobo em 23/07/96	178
FIGURA 86 - Distribuição espacial do nível de turbidez da água na represa de Barra Bonita em 23/07/96	179
FIGURA 87 - Distribuição espacial do nível de turbidez da água na represa do Lobo em 24/08/96	179
FIGURA 88 - Distribuição espacial do nível de turbidez da água na represa de Barra Bonita em 08/08/96	180
FIGURA 89 - Estabelecimento do clima de radiação solar subaquática mediante as condições meteorológicas e hidrológicas e suas implicações (modificado de CALIJURI & TUNDISI, 1991)	183

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 -	Faixas espectrais da radiação eletromagnética emitida pelo Sol	12
TABELA 02 -	Especificações do aparelho Horiba U-10, para as medidas de pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade e turbidez	44
TABELA 03 -	Profundidade da zona eufótica na represa de Barra Bonita em 23/02/96 (Período chuvoso) - Verão	52
TABELA 04 -	Profundidade da zona eufótica na Represa de Barra Bonita em 01/08/96 (Período seco) - Inverno	52
TABELA 05 -	Profundidade da zona eufótica na represa do Lobo - Ponto A em 05/03/96 (Período chuvoso) - Verão	53
TABELA 06 -	Profundidade da zona eufótica na represa do Lobo - Ponto A em 26/09/96 (Período seco) - Inverno	53
TABELA 07 -	Coefficiente de atenuação total da luz, K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a Represa de Barra Bonita em 23/02/96 (Período chuvoso) - Verão	55
TABELA 08 -	Coefficiente de atenuação total da luz, K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a Represa de Barra Bonita em 01/08/96 (Período seco) - Inverno	55
TABELA 09 -	Coefficiente de atenuação total da luz K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a Represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96 (Período chuvoso) - Verão	56
TABELA 10 -	Coefficiente de atenuação total da luz K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a Represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96 (Período chuvoso) - Verão	56
TABELA 11 -	Coefficiente de atenuação total da luz K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a Represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96 (Período seco) - Inverno	57
TABELA 12 -	Coefficiente de atenuação total da luz K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a Represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96 (Período seco) - Inverno	57
TABELA 13 -	Abordagem comparativa de algumas características ópticas na represa de Barra Bonita em 23/02/96 (Período chuvoso) - Verão	59
TABELA 14 -	Abordagem comparativa de algumas características ópticas na Represa de Barra Bonita em 01/08/96 (Período seco) - Inverno	60
TABELA 15 -	Abordagem comparativa de algumas características ópticas na represa do Lobo - Ponto A em 05/03/96 (Período chuvoso) - Verão	61
TABELA 16 -	Abordagem comparativa de algumas características	

	ópticas na represa do Lobo - Ponto A em 26/09/96 (Período seco) - Inverno	62
TABELA 17 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão	109
TABELA 18 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão	110
TABELA 19 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão	111
TABELA 20 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno	112
TABELA 21 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno	113
TABELA 22 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno	114
TABELA 23 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão	115
TABELA 24 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão	115
TABELA 25 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão	116
TABELA 26 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 09:00h (Período chuvoso) Verão	116
TABELA 27 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do	

	Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão	116
TABELA 28 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão	117
TABELA 29 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno	117
TABELA 30 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno	118
TABELA 31 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno	118
TABELA 32 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 9:00h (Período seco) - Inverno	119
TABELA 33 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno	119
TABELA 34 -	Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno	119
TABELA 35 -	Velocidade do vento, em m/s, na represa de Barra Bonita, a 1,0 m e a 10,0 m de altura com relação à superfície deste reservatório, nos dias de coleta e no dia imediatamente anterior a estes	120
TABELA 36 -	Valores médios diários das variáveis climatológicas da represa de Barra Bonita em fevereiro/96 - Verão	121
TABELA 37 -	Valores médios diários das variáveis climatológicas da represa de Barra Bonita em julho e agosto/96 - Inverno: Período seco	122
TABELA 38 -	Velocidade do vento na represa do Lobo, em m/s, a 10,0m de altura em relação à superfície deste reservatório, nos dias: 03, 04 e 05/03/96 (Verão: Período chuvoso) e 25, 26, 28, 29 e 30/09/96 (Inverno: Período seco)	123

TABELA 39 -	Valores médios diários das variáveis climatológicas da represa do Lobo nos meses de fevereiro e março/96 - Verão: Período chuvoso	124
TABELA 40 -	Valores médios diários das variáveis climatológicas da represa do Lobo no mês de setembro/96 - Inverno: Período seco	125
TABELA 41 -	Valores médios diários obtidos na estação meteorológica, localizada na represa do Lobo, nos meses de fevereiro e março/96 (Verão: Período chuvoso), para a insolação, radiação total e radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) na superfície terrestre	126
TABELA 42 -	Valores médios diários obtidos na estação meteorológica, localizada na represa do Lobo, no mês de setembro/96 (Inverno: Período seco), para a insolação, radiação total e radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) na superfície terrestre	126
TABELA 43 -	Valores obtidos para radiação fotossinteticamente ativa e radiação solar que atinge a superfície da terra, para a represa do Lobo, nos horários indicados, para os dias: 03, 04 e 05/03/96 - Verão: Período chuvoso	127
TABELA 44 -	Valores obtidos para radiação fotossinteticamente ativa e radiação solar total na superfície terrestre, para a represa do Lobo, nos horários indicados, para os dias 25 e 26/09/96 - Inverno	128
TABELA 45 -	Valores obtidos para radiação fotossinteticamente ativa e radiação solar total na superfície terrestre, para a represa do Lobo, nos horários indicados, para os dias 29 e 30/09/96 - Inverno	129
TABELA 46 -	Relações entre as profundidades: máxima, zona eufótica e zona de mistura no reservatório de Barra Bonita no verão (período chuvoso) e no inverno (período seco) e para o reservatório do Lobo no inverno (período seco) ...	136
TABELA 47 -	Relações entre as profundidades: máxima, zona eufótica e zona de mistura no reservatório do Lobo no verão (período chuvoso) para cada horário de estudo	136
TABELA 48 -	Águas classificadas em claras, coloridas e turvas em 58 lagos do Alasca, apresentando faixa de valores para turbidez, cor e concentração de clorofila como também para os parâmetros da qualidade da água e das características ópticas. (KOENINGS & EDMUNDSON, 1991)	148
TABELA 49 -	Coefficiente de atenuação vertical da radiação fotossinteticamente ativa em águas interiores. A R.F.A. foi medida com quanta-meter LI-COR (KIRK, 1977)	159

TABELA 50 -	Profundidade Secchi (ZDS), coeficiente de atenuação da irradiância descendente na faixa espectral de menor atenuação (K_d) e concentração média de clorofila a , nas regiões pelágicas ($z > 100\text{m}$) e nas regiões neríticas ($z < 100\text{ m}$), em estações de estudo no sudeste do mar Mediterrâneo entre 1981 e 1984. (MEGARD & BERMAN, 1989)	160
TABELA 51 -	Características ópticas da água e parâmetros da qualidade da água dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo entre 1986 e 1987 (CALIJURI, 1988)	161
TABELA 52 -	Características ópticas da água para: lago D. Helvécio, lagoa Carioca e lagoa Amarela.(CALIJURI et al., 1989) .	161
TABELA 53 -	Concentrações médias sazonais de clorofila a e de material em suspensão, coeficiente de atenuação vertical (K_t) e profundidade Secchi (ZDS), nas regiões norte, centro, sul e oeste no Lago Okeechobee, Flórida (ALDRIDGE et al., 1995)	162
TABELA 54 -	Percentual dos quanta fotossinteticamente absorvidos entre frações particuladas, solúveis e água em vários ambientes aquáticos. (Em cada caso, foi considerado a zona eufótica do corpo d'água em questão)	166

LISTA DE SÍMBOLOS

A	absorbância da luz (sem unidade)
Å	Angstrom (unidade de comprimento de onda, $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$)
<i>a</i>	coeficiente de absorção da luz, (m^{-1})
K _w	coeficiente de atenuação devido a água e compostos dissolvidos, (m^{-1})
K _c	coeficiente de atenuação devido a clorofila, (m^{-1})
K _x	coeficiente de atenuação devido ao material em suspensão (frações orgânica e inorgânica), (m^{-1})
K _t	coeficiente de atenuação total da luz, (m^{-1})
$\lambda, \lambda_1, \lambda_2$	comprimento de uma onda do espectro eletromagnético na faixa do visível, (nm)
h	constante de Planck, ($h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)
E	energia de uma onda eletromagnética, (J, W/s)
ν	freqüência de uma onda eletromagnética, (s^{-1})
I, I _z	intensidade luminosa (300 nm - 750 nm) a uma dada profundidade e na profundidade z de um corpo d'água, (μA)
I _o	intensidade luminosa incidente (300 nm - 750 nm) numa superfície de água, (μA)
μm	micrometro (unidade de comprimento de onda, $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$)
nm	nanometro (unidade de comprimento de onda, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)
K _t x Z _{DS}	produto do coeficiente de atenuação total da luz e a profundidade Secchi, (sem unidade)
z	profundidade, (m)
Ze _u	profundidade de penetração da luz solar, na faixa espectral do visível a 1% do nível de incidência: zona eufótica, (m)
Z _{máx.}	profundidade máxima do corpo d'água no ponto de estudo
Z _{mix.}	profundidade na qual ocorre circulação completa e temperatura homogênea: zona de mistura, (m)

- ZDS profundidade que o disco de Secchi desaparece: profundidade Secchi, (m)
- R.F.A. radiação fotossinteticamente ativa, ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, $\text{Cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, $\text{Cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$)
- Zeu/ZDS relação entre a profundidade da zona eufótica e a profundidade Secchi, (sem unidade)
- r trajetória percorrida pela luz em uma camada de água, (m)
- \bar{Z}_{eu} valor médio da profundidade da zona eufótica, no ponto de estudo, (m)
- c velocidade da luz, ($v = 3 \times 10^8$ m/s)

RESUMO

RODRIGUES, S.L. (1997). *“Efeitos das variáveis ecológicas na disponibilidade e qualidade da radiação solar subaquática em ecossistemas artificiais (Reservatórios de Barra Bonita e do Lobo)”*. São Carlos, 1997. 218p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O estudo da disponibilidade e qualidade da radiação solar subaquática foi desenvolvido nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo, localizados no Estado de São Paulo, apresentando diferentes estados de eutrofização. Uma comparação da penetração e da alteração na composição espectral da luz subaquática foi realizada entre estes dois ambientes aquáticos, em duas épocas do ano: o verão e o inverno, as quais apresentam características bem definidas. A partir das concentrações de material em suspensão (frações orgânica e inorgânica), de clorofila total e de compostos dissolvidos, pode-se obter a parcela de contribuição de cada um desses componentes, na alteração da quantidade e qualidade da luz solar subaquática. Para a determinação do regime de luz subaquática em cada reservatório, estudou-se como as propriedades ópticas aparentes e as condições climatológicas e hidrometeorológicas interferiram em todo o processo de atenuação e alteração da qualidade espectral da luz subaquática. Os usos e ocupações da bacia hidrográfica, em que os reservatórios estão inseridos, mostraram ser outro fator relevante, neste sentido, devido a entrada de material particulado e dissolvido nestes ambientes aquáticos. A penetração de luz foi menor no verão em ambos os reservatórios. A composição espectral da luz subaquática variou com a profundidade e a cada hora observada, no verão e no inverno. De um modo geral, a faixa espectral do azul foi mais fortemente atenuada, seguida pelo verde. Baixos níveis da luz na faixa espectral do vermelho disponível nestes ambientes, foram encontrados desde a superfície da água.

Palavras-chave: luz solar subaquática, espectro e atenuação.

ABSTRACT

RODRIGUES, S.L. (1997). "*Effects of ecological variables on the availability and quality of underwater solar radiation in artificial ecosystems (Barra Bonita and Lobo reservoirs)*". São Carlos, 1997. 218p. Thesis (Master). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A study of availability and quality of underwater solar radiation was carried out at the Barra Bonita and Lobo reservoirs. Both reservoirs are located in the State of São Paulo and present different eutrophication degrees. A comparison of the penetration and spectral composition of underwater light was performed for both aquatic ecosystems, during the summer and during the winter, two seasons presenting well defined and distinct characteristics. Using the information obtained from measurements of the concentrations of suspended materials (organic and inorganic fractions), total chlorophyll and dissolved compounds, it was possible to find the contribution of each one of these components to the qualitative and quantitative change of the underwater solar radiation. In order to determine the underwater light regime for each reservoir, a study was performed on the influence of apparent optical properties as well as climatological and hydrometeorological conditions on the process of attenuation and alteration of the spectral quality of underwater light. Land use and occupation in the watersheds where both reservoirs are located, had also significant influence in this sense, due to the input of particulate and dissolved materials into these aquatic environments. The penetration of light was smaller in the summer for both reservoirs. The spectral composition of underwater light varied with depth and from hour to hour, in summer and winter. In general, the blue waveband was the most strongly attenuated, followed by the green waveband. Low levels of the red light available for the environments were encountered near the surface of water.

Key words: underwater solar light, spectrum and attenuation.

1 INTRODUÇÃO

O Sol é a fonte principal de energia para o nosso planeta, que chega em sua superfície na forma de radiação solar. Sendo a essência da vida uma progressão de mudanças, que ocorrem acompanhadas por transformações de energia, é de grande relevância o conhecimento de como ocorrem tais mudanças e o que ocasionam nos ecossistemas aquáticos.

A luz, vinda do Sol, é um exemplo de forma de energia, que pode ser transformada em trabalho, calor, energia química e em outros tipos de energia, de conformidade com a situação, não sendo destruída e nem criada (Primeira Lei da Termodinâmica).

Desta forma, os conceitos físicos fundamentais estão intimamente relacionados com os estudos de Ecologia, uma vez que toda manifestação de vida associa-se com transformação de energia (ODUM, 1971).

Assim, a radiação solar é vital para a existência dos ecossistemas aquáticos, pois praticamente toda energia que dirige e controla o metabolismo de tais ambientes é derivada da energia solar, que é convertida bioquimicamente pela fotossíntese em energia potencial química. A síntese fotossintética da matéria orgânica ocorre dentro dos sistemas aquáticos ou dentro da bacia de drenagem e transportada para os mesmos como matéria orgânica particulada ou dissolvida, através de mecanismos de movimento, como ventos, chuvas e animais (WETZEL & LIKENS, 1991).

Além da utilização da radiação solar para a fotossíntese, a absorção desta energia e sua dissipação em forma de calor, afeta consideravelmente a estrutura térmica e estratificação das massas de água, e a de circulação de lagos,

reservatórios e cursos d'água. Estas características, levam a profundos efeitos sobre o ciclo de nutrientes e distribuição de gases e biota. As propriedades ópticas da água, portanto, exercem importante controle sobre a fisiologia e comportamento dos organismos aquáticos (WETZEL & LIKENS, 1991), gerando no ambiente aquático um clima de luz subaquática, ocasionando respostas diferenciadas desses organismos.

A luz incidente sobre uma superfície de água, não a penetra totalmente, pois uma parte significativa desta é refletida. Esta luz, não disponível para o sistema aquático, pode ainda sofrer reflexão ou "backscattering", através da atmosfera e vizinhanças (WETZEL & LIKENS, 1991).

A porção de luz que atravessa um corpo d'água tem sua intensidade reduzida e sua qualidade espectral é alterada como resultado da absorção diferenciada, pelos componentes do meio aquático. A atenuação da luz é acentuada com a profundidade devido a presença de material que ocasiona espalhamento ("scattering") dentro da água, com o desvio da trajetória do feixe luminoso, sendo posteriormente absorvido. Desta forma, a atenuação da luz subaquática é devido aos mecanismos de espalhamento e de absorção (KIRK, 1980).

Para o entendimento da atenuação da luz e do clima de radiação nos ambientes aquáticos é necessário conhecer quais os componentes absorvedores e espalhadores de luz dentro do meio, e, de que forma cada um deles contribui para todo o processo de absorção da luz na água. Nesses estudos, a faixa espectral da luz de interesse, se concentra naquela em que ocorre o processo fotossintético, denominada de radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), a qual está compreendida entre 380 nm e 700 nm aproximadamente.

Basicamente a absorção da luz, no meio aquático, ocorre devido a quatro componentes: a água propriamente, material em suspensão, clorofila e compostos dissolvidos (KIRK, 1980). Para cada corpo d'água, a incidência e a penetração da luz solar podem ser afetadas por parâmetros ambientais, tais como

altitude solar, cobertura de nuvens, época do ano e hora do dia; como também, por fatores hidrometeorológicos, que têm grande influência sobre os componentes da absorção da luz.

Além desses fatores mencionados, os usos e ocupações da bacia hidrográfica, no qual o corpo d'água está inserido, também apresentam grande influência sobre a penetração de luz neste meio, não somente quanto ao grau de sua atenuação, como também quanto à alteração em sua composição espectral, considerando a entrada de material no sistema.

Na literatura, existem estudos relativos a luz solar subaquática, que contribuem para ampliar o entendimento da vida nos ambientes aquáticos. Neste sentido, pode-se citar alguns trabalhos realizados por KIRK (1980), que estudou a absorção espectral da luz em águas naturais do sudeste australiano devido ao material particulado, dissolvido e água. O coeficiente de absorção foi usado para calcular que parcela cada componente absorveu a radiação fotossinteticamente ativa. Em águas claras, mas coloridas, as substâncias dissolvidas tiveram maior parcela na absorção, seguida pela água. Em águas que apresentaram altas concentrações de fitoplâncton, as frações particuladas absorveram tanto quanto a água, embora as substâncias dissolvidas tenham absorvido mais que as outras. Em águas turvas, a fração particulada é a mais absorvedora de luz, embora esta seja a mais importante para o espalhamento da luz.

KIRK (1989), estudou o campo de luz ascendente em águas naturais, dada a sua importância na aparência dos corpos d'água, para a visibilidade de objetos através da água, e, para o sensoriamento remoto. Segundo o autor, em qualquer profundidade, o fluxo de luz descendente origina espalhamento ascendente em camadas inferiores, principalmente dentro de distâncias ópticas abaixo da profundidade de referência. Foi definido o coeficiente de atenuação vertical do feixe de luz ascendente e KIRK sugeriu ser este muito maior que o coeficiente de atenuação vertical do feixe de luz descendente na região média da zona eufótica.

Mais recentemente, BRICAUD & STRAMSKI (1990), elaboraram estudos comparativos entre águas mesotróficas peruanas e águas oligotróficas do mar Sargasso, pelos coeficientes de absorção. A média dos coeficientes de absorção devido a clorofila, medidos no mar Sargasso foram consideravelmente maiores, e também maiores em camadas superficiais que em camadas mais profundas; possivelmente, segundo os autores, devido a diferenças no tamanho e concentrações de pigmentos intracelulares das células, produzindo diferenças no conjunto de efeitos.

GALLEGOS & CORRELL (1990), mediram os coeficientes de atenuação difusa no rio Rhode e no golfo Chesapeake, em Maryland (U.S.A.), sendo utilizado o modelo de Kirk para se determinar os coeficientes de absorção e de espalhamento. Os coeficientes de atenuação difusa variaram entre 1 a 10 m^{-1} e a profundidade fótica entre < 1 a 4,5 m.

KOENINGS & EDMUNDSON (1991), estudaram o regime de luz em lagos do Alasca, com medidas efetuadas utilizando o Disco de Secchi e fotômetro submarino, estabelecendo relações com as profundidades Secchi, zona eufótica e o coeficiente de atenuação, mediante os parâmetros: cor, turbidez e concentração de clorofila na água. Os autores concluíram que estas relações podem ser úteis para se estimar o sistema de carreamento por material particulado (turbidez) ou por compostos dissolvidos (cor) nos corpos d'água.

ALDRIDGE et al. (1995), pesquisaram sobre a luz disponível no lago raso de Okeechobee (Flórida), levando-se em consideração a variação espacial. Nas regiões norte e centro as concentrações de material particulado é alta e atenuação da luz foi predominantemente relacionada com material em suspensão e clorofila *a*. Nas regiões sul e oeste esta concentração é baixa e a atenuação da luz foi relacionada com concentrações de clorofila *a*, no verão e no outono.

SANDÉN & HÅKANSSON (1996), estudaram a tendência, a longo prazo, da profundidade Secchi no mar Báltico, por este apresentar aumento de nutrientes, que interfere na produção primária. Os dados foram obtidos nos

períodos de 1919 a 1939 e de 1969 a 1991, cujos autores mostraram que, em ambos os períodos a profundidade Secchi diminuiu em torno de 0,05 m por ano e mudanças nas concentrações de clorofila sugerem aumento de cerca de 1% ao ano. Estes autores consideraram os resultados irreal, dada a incerteza das relações entre a profundidade Secchi e concentração de clorofila e entre clorofila e produção primária.

A disponibilidade e qualidade da luz subaquática é de fundamental interesse para o conhecimento científico dos ecossistemas aquáticos, e ainda é preciso pesquisar muito, para se conhecer mais sobre o assunto, de modo a fornecer contribuições valiosas para o entendimento do mecanismo de funcionamento desses sistemas.

Mais especificamente, no caso do Brasil, pode-se mencionar alguns desses estudos, que em geral fazem parte da caracterização dos ecossistemas brasileiros, dentre eles, TUNDISI (1970), discute problemas relacionados com a produção primária do fitoplâncton e suas interrelações com alguns fatores ambientais, sendo a luz um possível fator limitante em certas épocas do ano; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1976) com uma revisão geral sobre produção de matéria orgânica em ecossistemas aquáticos, discutiu sua relação com a penetração de luz em águas costeiras, estuário e reservatório raso turbulento, sugerindo a sua possível atenuação, derivada da concentração de grandes massas de fitoplâncton em várias profundidades, o que provavelmente implica em respostas diferenciadas às intensidades luminosas.

CÁLIJURI (1985), desenvolveu estudos na represa do Lobo sobre curvas de luz-fotossíntese e fatores ecológicos; HINO et al (1986), pesquisaram a distribuição vertical do fitoplâncton no lago D. Helvécio, sudeste do Brasil, sendo considerado que nas proximidades da base da zona eufótica pode ter relações com a biomassa fotossintética, embora se tenha a taxa específica de fotossíntese limitada por baixos níveis de luminosidade nesta região. Os autores apontaram que em alguns lagos temperados, as cianobactérias se mantêm

estacionárias sob baixa intensidade de luz.

CALIJURI et al. (1989), discutem a penetração de luz em quinze lagos do Vale do Rio Doce durante o inverno e o verão, observando-se as diferenças em cada lago nestas estações do ano. No lago D. Helvécio, segundo os autores, o valor de K_x foi praticamente duplicado no inverno com relação ao seu valor do verão, possivelmente devido ao aumento de circulação, com ressuspensão de material particulado. Em vários lagos, na estação do verão, apresentaram K_x elevado em decorrência do transporte de material particulado para o sistema pela ocorrência de chuvas.

CALIJURI & TUNDISI (1991), fizeram comparação limnológica entre as represas de Barra Bonita e do Lobo, apresentando características de cada ambiente, com informações de grande importância no manejo e usos múltiplos dos mesmos, detectando os impactos sofridos pela mineração, recreação e desmatamento na represa do Lobo e eutrofização devido a intensa entrada de resíduos domésticos e agrícolas, elevando o nível de toxicidade pelo uso excessivo de pesticidas e descargas dos resíduos industriais na represa de Barra Bonita.

NOVO et al. (1995), desenvolveram estudos sobre a aplicação do sensoriamento remoto em estudos limnológicos, fornecendo informações sobre sua utilidade e viabilidade, abrangendo os aspectos da utilização em escalas espaciais diferentes, espacialização de informações pontuais, avaliação das interações entre os sistemas aquáticos e terrestres, detecção de mudanças no ambiente, dentre outros.

Há muito o que pesquisar tanto sobre a qualidade da luz subaquática, bem como os fatores que determinam sua distribuição no meio aquático. Esta pesquisa em questão, procura contribuir para o enriquecimento de estudos desta natureza, fornecendo subsídios para um maior entendimento do mecanismo de funcionamento em dois reservatórios do Estado de São Paulo.

A represa de Barra Bonita, um dos pontos de estudo, possui

profundidade média comparada com os demais reservatórios do estado, sendo um ambiente eutrófico, com flutuações de volume e tempo de retenção da água. A outra estação de estudo, represa do Lobo, é um reservatório relativamente raso, oligomesotrófico, com tempo de retenção da água, sem alterações muito evidentes.

O estudo da quantidade e qualidade da radiação solar subaquática, foi desenvolvido nestes dois ecossistemas diferentes, em duas épocas do ano bem marcantes: o verão e o inverno, com o intuito de se obter informações, que possibilitem detectar os fatores que contribuem para a atenuação da luz subaquática nestes sistemas e em que proporção atua cada um deles.

A represa de Barra Bonita está localizada numa região em que predomina o cultivo de cana-de-açúcar, o qual deve ter grande parcela de contribuição para a eutrofização deste ecossistema. Para a represa do Lobo, a mineração, a recreação e o desmatamento constituem fatores que influenciam os processos ecológicos desenvolvidos no corpo d'água. Desta forma, os usos e ocupações das bacias hidrográficas, nas quais os reservatórios em estudo estão inseridos, podem também apresentar influência no processo de penetração de luz nestes ambientes.

Com o estudo da penetração de luz nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo, se pretende adquirir uma gama de informações que possibilitem detectar os fatores atenuantes da luz subaquática, o modo pelo qual está ocorrendo esta atenuação e a parcela de contribuição de cada um deles. Todo este processo ocorre mediante interação da luz solar com as propriedades ópticas da água e da influência de todo o material particulado e dissolvido nela contido. O conseqüente regime de luz assim estabelecido nestes corpos d'água, pode determinar as condições pelas quais os organismos se organizam por toda a coluna d'água, e respondem à qualidade e quantidade de luz subaquática.

Desta forma, a luz disponível nos ambientes aquáticos, pode tornar-se um fator limitante para a produção primária desses ecossistemas. Este trabalho

visa proporcionar maiores informações sobre o problema, e dar subsídios científicos para a caracterização dos reservatórios e suas relações com as bacias hidrográficas.

No capítulo 3, apresenta-se uma teoria básica sobre radiação solar e seus componentes quantitativos e qualitativos, com a finalidade de melhor ilustrar os trabalhos experimentais desenvolvidos neste estudo.

2 OBJETIVOS

Dada a importância fundamental da radiação solar nos ecossistemas aquáticos, exercendo influência sobre a eficiência na produtividade, e na organização espacial e respostas fisiológicas dos organismos no meio aquático, é de grande interesse o estudo do regime de luz estabelecido em cada um dos reservatórios estudados, nas duas épocas do ano consideradas, as quais apresentam grande diferenciação quanto a penetração de luz subaquática.

2.1 Objetivo Principal

O principal objetivo desta pesquisa consiste em comparar a disponibilidade e qualidade espectral da radiação solar subaquática em diferentes profundidades dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo, que apresentam diferentes concentrações de material em suspensão, de clorofila e de compostos dissolvidos, e cujas bacias hidrográficas estão submetidas a diferentes impactos, usos e cobertura vegetal.

Desta forma, contribuir para o entendimento do mecanismo de funcionamento dos dois ecossistemas aquáticos, em estudo, referente à redução da intensidade e às alterações da composição espectral da luz subaquática.

2.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo principal seja atingido, através dos estudos

efetuados nos dois reservatórios, procurou-se:

- Medir absorvância da água em cada reservatório, na faixa do visível.
- Comparar os valores obtidos para a profundidade da zona eufótica utilizando-se o Disco de Secchi com aqueles determinados pela profundidade correspondente a 1% da intensidade luminosa na superfície (com utilização do Hidrofotômetro).
- Comparar a profundidade da zona eufótica em ambos reservatórios, no inverno e no verão.
- Comparar a relação: $\bar{Z}_{eu}/Z_{máx}$ nos dois reservatórios para cada época do ano (verão e inverno).
- Determinar o coeficiente de atenuação total da luz (K_t) e os coeficientes de atenuação de cada um de seus componentes (K_w , K_c e K_x) em cada reservatório em estudo, nas duas épocas do ano.
- Comparar os resultados obtidos no item anterior e identificar as contribuições mais acentuadas de seus componentes.
- Comparar a relação: $Z_{DS} \times K_t$ nos dois reservatórios estudados em cada época do ano.
- Relacionar a atenuação da luz com as concentrações de material em suspensão e de clorofila na coluna d'água, em ambos reservatórios, no verão e no inverno.
- Determinar o perfil da radiação solar subaquática na faixa espectral do visível, em cada reservatório nas duas estações do ano.
- Relacionar as condições hidrometeorológicas com o clima de luz subaquática.
- Comparar a qualidade espectral da água em cada ambiente de estudo, e entre os reservatórios, no verão e no inverno.

3 TEORIA BÁSICA

3.1 Radiação Solar: Conceitos Fundamentais

A energia radiante emitida pelo Sol (radiação solar) fornece praticamente toda a energia para os processos naturais sobre a superfície da Terra e sua atmosfera. A energia que atinge a superfície da Terra como consequência da lua, das chamadas “estrelas fixas”, aurora boreal, relâmpagos, como também raios cósmicos e meteoros, constituem a ínfima parcela de cerca de 10^{-5} a 10^{-8} da radiação solar incidente (BUKATA et al., 1995). Talvez, o calor interno da Terra, e os efeitos das marés possam ser considerados como outras fontes de energia, que podem ser citadas, segundo COLE (1979).

A luz chega como um campo pulsante de força eletromagnética, composta de uma faixa contínua de ondas eletromagnéticas vindas do Sol a uma velocidade praticamente constante e igual a 3×10^5 Km/s. Existe uma infinidade de raios individuais dentro da radiação solar, cada qual possuindo comprimento de onda (λ) e frequência (ν) características.

O comprimento de onda pode ser expresso de várias formas: o Angstrom ($1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ m), o micrômetro ($1 \mu\text{m} = 10^{-6}$ m) e o mais usado é o nanometro ($1 \text{ nm} = 10^{-9}$ m). A ampla região espectral emitida pelo Sol pode ser dividida em intervalos de comprimento de onda conforme mostra a Tabela 1.

TABELA 1 - Faixas espectrais da radiação eletromagnética emitida pelo Sol

Região da radiação eletromagnética	Faixa espectral (nm)
Raios gama	$\lambda < 10^{-2}$
Raios X	$10^{-2} < \lambda < 10$
Radiação ultravioleta	$10 < \lambda < 390$
Faixa do visível	$390 < \lambda < 740$
Raios infravermelho	$740 < \lambda < 3 \times 10^6$
Microondas	$\lambda > 3 \times 10^6$

Fonte: (BUKATA et al., 1995)

Assim, um vasto espectro eletromagnético é formado por toda a gama de ondas irradiadas pelo Sol, mas apenas uma pequena fração atinge a superfície terrestre, que correspondente à luz solar.

Neste conjunto estão incluídas a faixa do visível, radiação ultravioleta e infravermelho, abrangendo aproximadamente uma faixa espectral entre 10 nm e 10^6 nm. Dentro desta faixa, as ondas que podem ser detectadas pelo olho humano, se encontram aproximadamente entre 380 nm e 780 nm, sendo esta definida como “luz”, enquanto que os raios com comprimentos de onda fora desta faixa são denominados “radiação” (COLE, 1979).

A região espectral do visível é composta por sete cores (violeta, anil, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho), na qual cada uma delas corresponde a uma faixa ou intervalo de comprimento de onda. A Figura 1, ilustra a faixa espectral correspondente a cada cor da luz visível, ultravioleta e infravermelho.

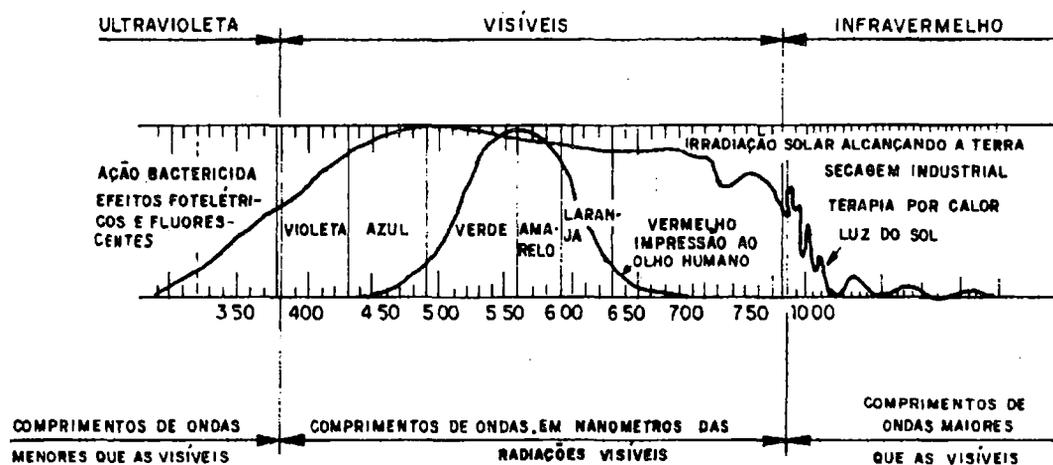


FIGURA 1 - Faixas espectrais das radiações ultravioleta, visível e infravermelho
 Fonte: (NEGRISOLI, M. E. M., 1981).

A luz contém “quantas” de energia, que varia segundo o comprimento de onda (λ) e a frequência (ν), onde pela teoria quântica de Planck, tem-se:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

onde:

- $E \rightarrow$ energia de um fóton (ou quantum de radiação)
- $\nu \rightarrow$ frequência da onda eletromagnética
- $\lambda \rightarrow$ comprimento da onda eletromagnética
- $c \rightarrow$ velocidade da luz ($c = 3 \times 10^8$ Km/s)
- $h \rightarrow$ constante de Planck, $h = 6,6 \times 10^{-34}$ J.s

Esta energia é transportada pelas ondas eletromagnéticas do Sol até a Terra, onde, para os fenômenos de propagação, a luz assume comportamento ondulatório (dotada de comprimento de onda e frequência). Enquanto que ao se tratar de sua interação com a matéria, nos processos de emissão e absorção, assume carácter corpuscular (dotada de velocidade).

Segundo a expressão acima, os “quantas” que correspondem a menores comprimentos de onda se manifestam com grande concentração de energia, capaz de mover elétrons fora de suas órbitas, ionizar átomos e perturbar a base molecular da vida. Em contraposição, aqueles com maiores comprimentos de onda, a energia contribui para a agitação térmica e um conseqüente aumento de temperatura.

Alguns fenômenos ópticos ocorrem quando a luz se propaga de um meio para outro, como por exemplo do ar para a água: reflexão (regular e difusa), refração (regular e difusa) e absorção da luz.

3.2 Radiação Solar na Superfície Terrestre

Segundo KIRK (1983), a intensidade e a distribuição espectral da radiação solar recebida pela Terra são funções tanto das características de emissão como da distância que o Sol está da Terra. A energia gerada dentro do Sol atinge cerca de 20×10^6 K, mas em direção à sua periferia, a temperatura é grandemente reduzida e em sua superfície ela atinge cerca de 6000 K, cuja energia radiante emitida por unidade de área de superfície e a distribuição espectral desta radiação são determinadas em função de sua temperatura.

A Figura 2, ilustra a diminuição da intensidade da radiação solar e sua distribuição espectral até atingir a superfície terrestre, bem como esta distribuição em dia claro e em dia encoberto.

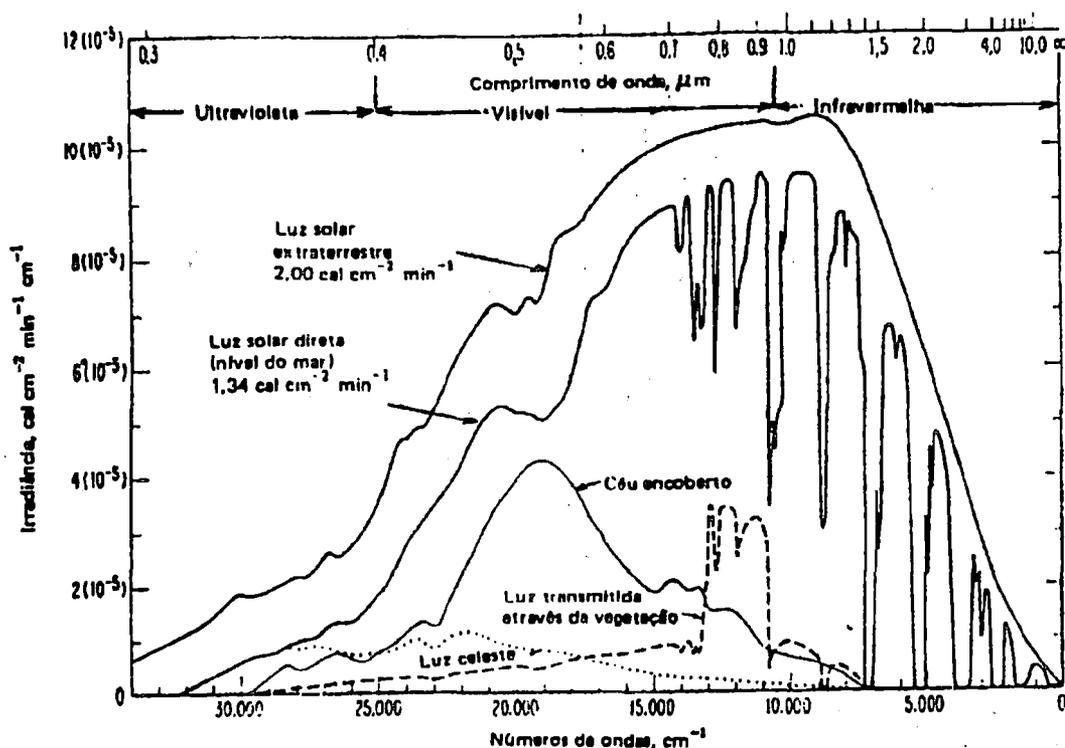


FIGURA 2 - Distribuição espectral da radiação solar extraterrestre, da radiação solar ao nível do mar num dia sem nuvens, da luz solar de um céu totalmente encoberto e da luz solar que penetra através da vegetação. Cada curva representa a energia que incide sobre uma superfície horizontal (DE GATES, 1965)
Fonte: ODUM, (1971).

Mesmo quando o céu está claro, a intensidade do feixe solar é significativamente reduzida durante sua passagem pela atmosfera (Figura 2). Esta redução na intensidade é devida ao espalhamento por moléculas de ar e por partículas de poeira e também devida a absorção por vapor d'água, oxigênio, ozônio e dióxido de carbono contido na atmosfera. Com o Sol posicionado verticalmente, em relação a Terra, a irradiância solar total sobre uma superfície horizontal ao nível do mar, é reduzida em torno de 14% com atmosfera seca e limpa, e de aproximadamente 40% quando esta apresenta-se úmida e nebulosa, comparados aos valores acima da atmosfera. A proporção em que o fluxo solar incidente é alterado pela atmosfera é aumentada com a diminuição da elevação solar, por aumentar a trajetória do fluxo através da mesma (KIRK, 1983).

Os processos de espalhamento e de absorção dentro da atmosfera não só reduzem a intensidade, como também alteram a distribuição espectral do feixe solar. A diminuição do fluxo solar na faixa espectral do ultravioleta, em torno de 10 nm e 390 nm, é principalmente devido ao espalhamento, com a contribuição da absorção pelo ozônio. Na faixa do visível, entre aproximadamente 380 nm e 700 nm, a atenuação do fluxo solar se deve predominantemente ao espalhamento, mas com a ocorrência de absorção do ozônio, oxigênio e de vapor d'água no final da faixa espectral do vermelho. Por fim, na região do infravermelho, o espalhamento apresenta parcela menos significativa, e várias bandas de absorção de vapor d'água são as principais responsáveis pela diminuição no fluxo radiante (KIRK, 1983).

Ainda, a alteração do fluxo solar na faixa espectral do infravermelho por absorção durante sua passagem pela atmosfera é variável, uma vez que a quantidade de vapor d'água nesta é igualmente variável. Contudo, de uma maneira geral, esta mudança é mais acentuada nesta faixa do espectro do que na banda fotossintética. Como consequência, a radiação fotossinteticamente disponível, aproximadamente entre 400 nm e 700 nm, é a maior parcela da radiação solar que atinge a superfície da Terra. A radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), constitui cerca de 46% da radiação que atinge a superfície terrestre, considerando-se tanto a radiação direta quanto a difusa (decorrente da interação com os componentes da atmosfera) (KIRK, 1983).

Além disso, existem outros fatores que podem interferir na quantidade do fluxo solar que penetra na superfície terrestre, tais como: o grau e o tipo de cobertura de nuvens, radiância a partir do céu, hora do dia, época do ano, localização (latitude, longitude) e outros. Desta forma, a radiação solar disponível no ecossistema aquático, é aquela que atravessou a atmosfera e pode encontrar meios para penetrar na interface ar-água (BUKATA et al., 1991).

3.3 Radiação Solar no Meio Aquático

Parte da energia disponível para o sistema aquático que atinge a superfície de água, pode ser refletida de volta para a atmosfera. Esta quantidade depende primeiramente do ângulo de incidência, variando com as estações do ano, hora do dia, latitude e ondulação da superfície.

Segundo COLE (1979), o quanto esta é refletida pela superfície da água é difícil determinar devido fatores como ventos provocando movimentação na superfície da água. Para ondulações leves, a penetração de luz é maior que em superfícies muito agitadas pela ação de ventos fortes. Além disso, o ângulo de incidência torna-se menos importante quando aumenta a cobertura de nuvens, devido o aumento na taxa de radiação difusa (interação com atmosfera).

A parte da luz não refletida atravessa a interface ar-água, ocorrendo a refração com a mudança de direção (com a vertical) do feixe incidente. O fenômeno de refração é resultado da diferença de velocidade da luz em meios diferentes, no caso ar e água.

Quando da incidência de luz no meio aquático, os fenômenos mencionados ocorrem simultaneamente. KIRK (1983), demonstra tais fenômenos ocorrendo no meio aquático, através da Figura 3, observando-se que em (a) a luz incide sobre a superfície de água (do ar para a água) e em seguida é refratada dentro da água, e uma pequena parcela é refletida para o ar. Em (b), a luz parte da água sendo parcialmente refratada e passa para o ar, e pequena fração desta é refletida em direção a interface ar-água, voltando para a água. Em (c), a luz incide a partir da massa de água e ocorre reflexão interna completa a partir da superfície de separação água-ar, retornando para a água.

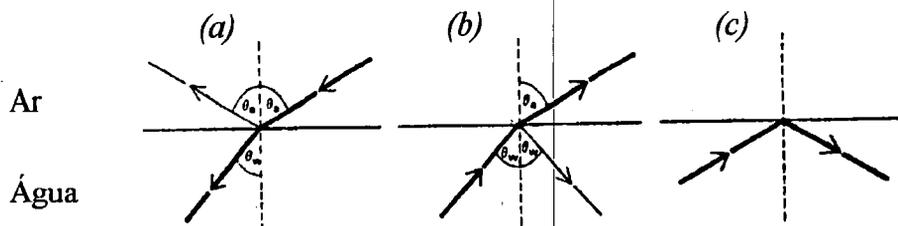


FIGURA 3 - Reflexão e refração da luz na superfície de separação ar-água
Fonte: KIRK, (1983).

Embora a água seja um líquido transparente, quando a luz atravessa uma massa de água é atenuada, podendo ser extinguida. Bouguer e posteriormente Lambert são responsáveis pela lei que fornece uma explicação sobre a luz atravessando uma camada de um meio absorvente. Quando um feixe paralelo de luz monocromático penetra a água quimicamente pura, por exemplo, este é absorvido exponencialmente; a absorção varia diretamente com o logaritmo da camada de água através da qual a luz atravessa. Nenhuma exceção se conhece sobre o assunto. Quando a luz penetra meios absorventes homogêneos, é reduzida a uma taxa constante para cada camada infinitesimal. Condições assim ideais não são encontradas na natureza, na qual o feixe luminoso policromático atinge uma massa de água em vários ângulos e penetra camadas heterogêneas (COLE, 1979).

Englobando-se o que foi discutido até então, a luz solar ao atravessar um corpo d'água está sujeita a modificações tanto em sua direção como em sua intensidade, devido a ocorrência dos fenômenos ópticos (reflexão e refração) e ao resultado da absorção e espalhamento de vários componentes do meio aquático, como mostra a Figura 4, de modo que a atenuação da luz solar subaquática é decorrente dos processos de absorção e de dispersão (ou espalhamento).

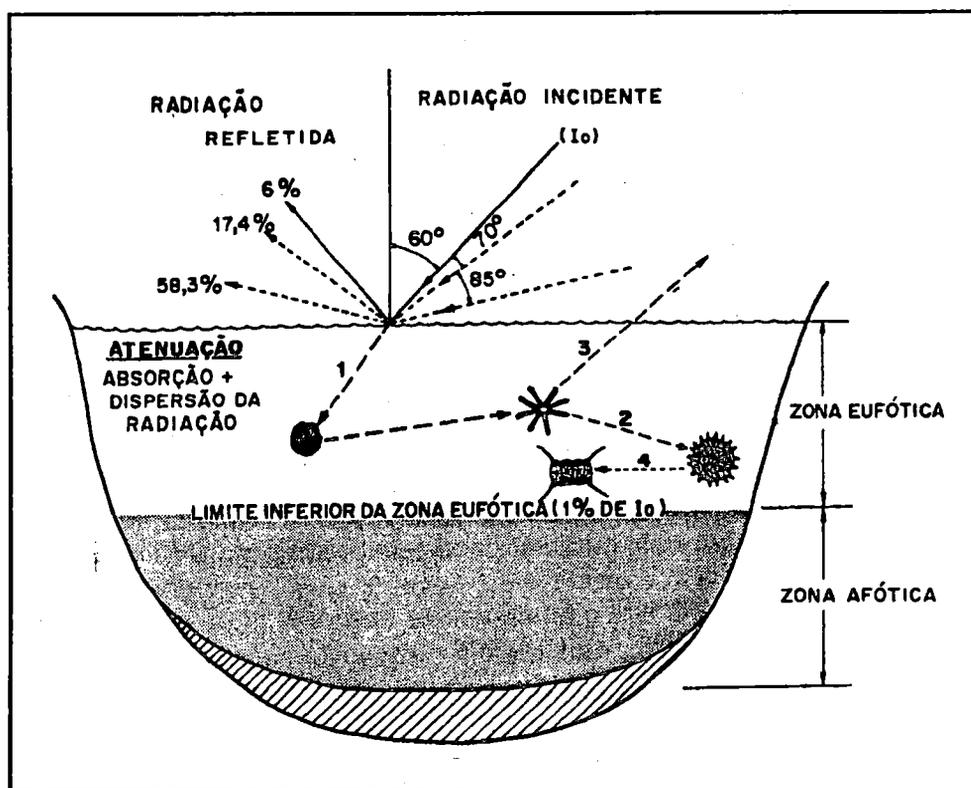


FIGURA 4 - Principais fenômenos que ocorrem com a radiação solar incidente sobre o corpo d'água. 1) Radiação que não é absorvida, é apenas espalhada; 2) Ao incidir sobre um composto ou material em suspensão, parte é absorvida e parte é novamente espalhada; 3) A radiação espalhada pode retornar à atmosfera; 4) A radiação pode passar por processos sucessivos de espalhamento e absorção, até ser totalmente atenuada

Fonte: ESTEVES, (1988)

3.4 Atenuação da Luz Solar no Meio Aquático

Os processos de absorção e de espalhamento da luz solar no meio aquático se combinam para reduzir a distribuição de sua intensidade, enquanto que o espalhamento também modifica seu carácter direcional, compondo assim todo o processo de atenuação da luz solar subaquática (BUKATA et al., 1995).

A absorção é definida como a diminuição da energia solar com o aumento da profundidade de um dado corpo d'água, devido a sua transformação em energia potencial química pela fotossíntese ou devido a sua dissipação

em forma de calor.

Para o entendimento destes processos é necessário rever alguns conceitos físicos quanto a estrutura da matéria.

Segundo EISBERG, (1974), a formulação da teoria simples sobre a estrutura do átomo proposta por Bohr em 1913, é ainda hoje bastante aceita, pois esta apresenta concordância com o aspecto quantitativo do espectro atômico, cujos postulados são:

1. No átomo, um elétron se movimenta em órbita circular ao redor do núcleo sob a influência da força de atração entre o núcleo e o elétron.
2. O elétron só pode mover-se em determinadas órbitas, com energia quantizada.
3. Quando o elétron se movimenta em uma órbita permitida, não irradia energia eletromagnética.
4. O elétron só emite radiação quando movimentar-se de uma órbita com determinada energia para outra com energia menor.

No caso da emissão da radiação eletromagnética por um átomo de Bohr, para o elétron se faz as seguintes considerações:

1. O estado normal do átomo será aquele em que o elétron tem a energia mínima, denominado “estado fundamental” do átomo.
2. Quando o átomo absorve energia, o elétron deve efetuar uma transição para um estado de maior energia, denominado “estado excitado” do átomo.
3. Uma tendência comum a todos os sistemas físicos é o de retornar ao estado fundamental, assim o elétron mediante uma série sucessivas transições por estados de energia mais baixa chega ao seu estado fundamental. Em cada transição, o elétron emite radiação eletromagnética, cujo comprimento de onda

depende da energia cedida pelo elétron.

4. Uma infinidade de “excitação” e “desexcitação” pode ocorrer apresentando-se todas as transições possíveis e conseqüentemente uma vasta faixa espectral para a radiação eletromagnética emitida.

Para a luz solar, que percorre o espaço concentrada em “pacotes” denominados fótons, onde a energia de um fóton é dada pela equação de Planck, estes conceitos são, então aplicados quando esta atinge uma superfície de água, na qual os fótons interagem com as moléculas dos componentes do sistema aquático.

A Figura 5, mostra a absorção de um fóton e a conseqüente transição para dois possíveis estados excitados de um elétron a partir de seu estado fundamental. Estes estados excitados, dependem naturalmente de suas energias, de conformidade com o comprimento de onda do fóton (λ_1 e λ_2), cada um correspondente a um espectro de absorção da molécula (KIRK, 1983).

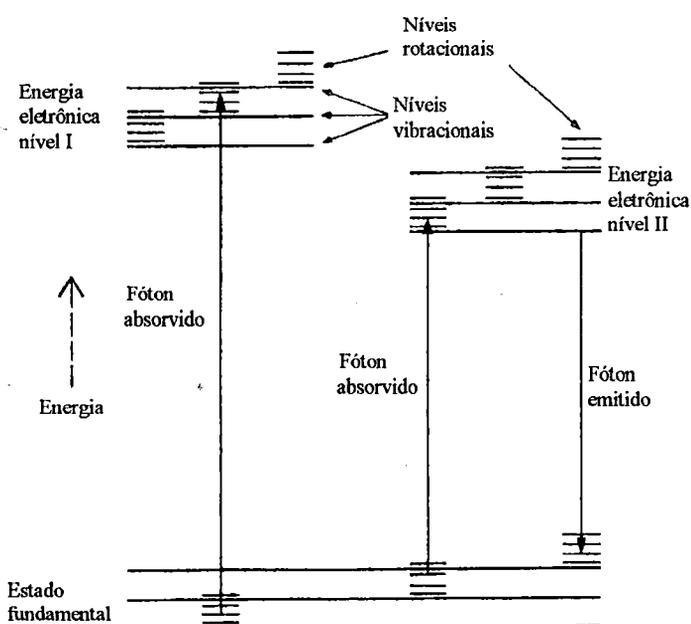


FIGURA 5 - Dois possíveis estados de excitação de um elétron por absorção de um fóton com comprimentos de onda λ_1 e λ_2 , respectivamente
Fonte: KIRK, 1983

As moléculas de um meio aquático podem obter energia tanto de outras moléculas como da radiação solar. Quando um fóton passa na vizinhança de uma molécula, existe uma probabilidade de ser absorvido por esta, então a energia da molécula deve aumentar de uma quantidade correspondente ao valor da energia do fóton. Se o fóton tem um grande comprimento de onda (faixa espectral do infravermelho para microondas), a sua energia é baixa, neste caso a absorção ocasiona a transição de um nível de energia rotacional para outro. Se o fóton está na faixa menor que a do infravermelho, a absorção causa transição de um nível de energia vibracional para outro (KIRK, 1983).

Na faixa fotossintética do espectro eletromagnético (faixa do visível), os fótons apresentam energia suficiente para esta ocorrência, com transições a partir de um nível eletrônico de energia para outro (energias mais altas), principalmente dentro de uma molécula complexa como a clorofila ou qualquer outro pigmento fotossintético (KIRK, 1983).

Portanto, a maior parte da energia luminosa absorvida por um sistema aquático, inicialmente como energia eletrônica de excitação, se transforma ou em calor ou em energia química na forma de fotossíntese, com as energias rotacional e vibracional distribuídas entre todas as moléculas do sistema. Apenas uma ínfima proporção retorna como luz por fluorescência, mas a maior parte é reabsorvida antes que possa escapar do sistema (KIRK, 1983).

Segundo KIRK (1983), o coeficiente de absorção da água quantifica a extinção da luz ao atravessar uma camada infinitesimal da água, este valor pode ser obtido pela absorbância A , de uma camada com uma dada espessura. O coeficiente de absorção da água pode ser escrito como:

$$a = 2.303 \cdot A/r$$

Onde:

- a → coeficiente de absorção da luz devido a água
- A → absorbância da luz devido a água
- r → trajetória da luz através do sistema

As medidas para a absorvância podem ser obtidas com a utilização de um espectrofotômetro que registra os valores das intensidades de luz incidente sobre o sistema (I_0) e a transmitida para o mesmo (I):

$$A = \log_{10} \cdot \frac{I_0}{I}$$

Para o caso desta pesquisa, foi utilizado um espectrofotômetro que permite leituras na faixa espectral bem ampla, aproximadamente entre 280 nm e 980 nm, sendo acoplado a este um microcomputador que fornece os valores de absorvância em função do comprimento de onda, nesta faixa espectral.

Os coeficientes de absorção para os diferentes constituintes do meio aquático podem ser determinados separadamente, cuja soma de tais coeficientes é igual ao coeficiente de absorção do meio como um todo (KIRK, 1983).

Basicamente toda a absorção da luz que ocorre em um corpo d'água é atribuída a quatro componentes do meio aquático: a água propriamente, compostos dissolvidos, biota fotossintética (fitoplâncton e macrófitas presentes) e material particulado (frações orgânica e inorgânica) (KIRK, 1980).

A absorção da luz no meio aquático assim constituída, são consideradas as propriedades de absorção espectral de cada componente e sua parcela de contribuição neste processo.

Em águas naturais, a água pura é considerada como sendo aquela que é livre dos efeitos ópticos da matéria orgânica ou inorgânica de origem terrestre e/ou atmosférica (BUKATA et al., 1995). Este componente absorve fracamente na faixa espectral do azul e do verde, mas começa aumentar com comprimento de onda acima de 550 nm, e é completamente significante na região do vermelho. Segundo KIRK (1983), em uma camada de aproximadamente 1 m, a água pura absorve cerca de 35% da luz incidente a 680 nm.

A matéria orgânica dissolvida é constituída em parte da decomposição de organismos aquáticos, sendo esta uma componente inerente em águas naturais

(BUKATA, et al 1995). Por outro lado, a entrada de matéria orgânica devido a ocorrência de chuvas, drenagem do solo, descargas em rios e lagos e finalmente em estuários e mares, na forma de substâncias húmicas dissolvidas dão à água uma cor amarelada, com a consequência de maior absorção da luz na faixa do azul (KIRK, 1983).

A concentração de substâncias dissolvidas varia não somente entre águas marinhas e doces, como entre águas interiores. Um parâmetro conveniente por meio do qual a concentração dessas substâncias pode ser indicada é o coeficiente de absorção a 440 nm devido a este material dentro da água. Este comprimento de onda é escolhido por corresponder a aproximadamente a um valor mediano na faixa espectral do azul, a qual a maioria das classes de algas tem em seu espectro de ação fotossintético (KIRK, 1983).

Toda água natural contém material em suspensão composto por matérias orgânica e inorgânica, incluindo partículas minerais oriundas do solo, plâncton, detritos (produtos residuais de decomposição de células de fitoplâncton, zooplâncton e de plantas macrófitas), partículas de origem vulcânica e antrópica e compostos particulados devido reações químicas localizadas.

A entrada de tais materiais no corpo d'água é uma consequência de erosão na região costeira do sistema aquático, descarga de detritos, transporte de partículas atmosféricas seguida por deposição seca. Estas partículas apresentam diferentes tamanhos e formas que interferem na qualidade e quantidade de luz subaquática de forma diferenciada (BUKATA et al., 1995).

O material particulado tem participação mais acentuada no espalhamento do que na absorção da luz no meio aquático, assim suas propriedades de absorção não podem ser caracterizadas pela espectrofotometria normal. Deste modo, a determinação da concentração deste material pode ser feita através da filtragem das amostras de um volume conhecido de água, determinando-se em seguida sua concentração (KIRK, 1983).

Assim, a absorção por material particulado é baixa ou ausente na faixa

do vermelho, aumentando para comprimentos de onda menores. Considerando sua origem a partir de material particulado húmico ou mineral, quando presentes com altas concentrações em águas túrbidas, podem apresentar mais absorção que aquela devida a compostos dissolvidos. Segundo KIRK (1983), nestas águas, a luz verde é rapidamente absorvida, quando apresentam altas concentrações de material húmico em fração particulada ou dissolvida.

Pelo carreamento de material existente nas vizinhanças do corpo d'água, o material particulado pode ser obtido sob outra forma a partir de seus compostos elementares, que segundo BUKATA, et al. (1995), apresentam-se na forma de corantes suspensos por compostos precipitados como hidróxido de ferro, hidróxido de manganês e carbonato de cálcio. Concentrações substanciais desses precipitados insolúveis podem produzir relevante absorção espectral seletiva e espalhamento dentro de um corpo d'água. Para isto se faz necessário uma combinação entre os componentes do ambiente aquático, pH adequado, presença local de centros de cristalização e mecanismos ativos para romper a estabilidade de supersaturação. Evidentemente estas condições não são próprias para a maioria dos sistemas aquáticos, sendo portanto uma situação localizada. Por exemplo, hidróxido de manganês e de ferro precipitados tem sido observados em lagos no Isthmus de Kola, noroeste da Rússia.

A absorção da luz por pigmentos fotossintéticos do fitoplâncton, para KIRK (1983), contribui para a atenuação da radiação solar subaquática, que depende não somente da quantidade desses pigmentos, como também do tamanho e forma das células algais ou colônias, nas quais os pigmentos estão localizados.

Segundo BUKATA et al (1995), a absorção pela clorofila ocorre nas faixas espectrais do azul e do vermelho.

Feitas as considerações acima quanto a absorção da luz no meio aquático devido aos elementos constituintes da água, o processo de espalhamento que ocorre simultaneamente, é descrito como consistindo na alteração da direção do fluxo luminoso ao atravessar uma camada de água, cujo efeito é impedir a sua

penetração vertical. Desta maneira, a trajetória realizada pelos fótons é aumentada, conseqüentemente aumentando a probabilidade destes serem absorvidos pelo meio aquático (KIRK, 1983). Além disso, alguns fótons são espalhados no sentido ascendente do corpo d'água, retornando para as camadas mais elevadas com relação ao ponto em que os fótons foram espalhados. Este efeito, contribui para intensificar a atenuação da luz solar subaquática (BUKATA et al., 1995).

Até o momento foi descrito como a radiação solar atinge um corpo d'água e quais as implicações e influências quando de sua penetração, de modo que, de conformidade com as condições nas quais a radiação solar fica sujeita, resulta num campo da luz subaquática.

3.4.1 Clima de radiação solar subaquática

A propriedade do campo da luz subaquática mais freqüentemente medida é a irradiância, que fornece informações de como a luz é disponível para a fotossíntese e como se dá sua transferência na água. A irradiância consiste na quantidade do fluxo de energia eletromagnética por unidade de tempo, também denominada densidade de fluxo de energia radiante (WETZEL & LIKENS, 1991).

A irradiância fotossintética é a densidade de fluxo de energia radiante da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), na faixa do espectro eletromagnético compreendido entre 380 nm e 700 nm aproximadamente (WETZEL & LIKENS, 1991).

A radiação fotossinteticamente ativa disponível para qualquer profundidade dos corpos d'água, pode ser medida por meio de um sensor quântico submarino, denominado quanta-meter. Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizado o quanta-meter da LI-COR, calibrado em $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Outro instrumento de grande utilidade, neste estudo, foi o

Hidrofotômetro, que mede a intensidade luminosa, em qualquer profundidade do corpo d'água, contendo fotocélulas que respondem quando em presença de luz na forma de corrente elétrica, no caso, em μA (WETZEL & LIKENS, 1991). Este instrumento fornece também, a intensidade luminosa seletiva, mediante o uso de filtros em faixas espectrais específicas.

O transporte da luz solar através da coluna d'água é governado pelos mecanismos de absorção e de espalhamento, discutidos anteriormente, onde cada ambiente aquático apresenta características diferentes. O coeficiente de atenuação total da luz solar subaquática, segundo COLE (1979), quantifica a extinção da luz que atravessa uma camada de água, que de acordo com WETZEL (1975), tem-se:

$$I_z = I_0 \cdot e^{-K_t \cdot z}$$

Ou:

$$K_t = \frac{\ln I_0 - \ln I_z}{z}$$

Onde:

- K_t → coeficiente de atenuação total da luz solar subaquática
- I_0 → Intensidade luminosa na superfície
- I_z → Intensidade luminosa na profundidade z
- z → profundidade z

Segundo WETZEL & LIKENS (1975), embora o coeficiente de atenuação total da luz solar subaquática, K_t , seja constante para um determinado comprimento de onda, na água, o campo de luz é constituído de vários comprimentos de onda. Logo, a equação acima mencionada para K_t , é imperfeita para as condições naturais, e, apresenta composição policromática da luz e várias características da água afetam sobremaneira a atenuação.

Esta atenuação, como mencionado, ocorre com a luz solar ao atravessar um corpo d'água que tem sua intensidade reduzida e sua qualidade espectral alterada como resultado da absorção por vários componentes do meio aquático. Esta atenuação é acentuada pela presença de material que ocasiona espalhamento dentro d'água. A função do espalhamento está na mudança da direção do campo da luz subaquática, que por espalhamentos sucessivos acaba por se submeter à absorção (KIRK, 1980).

A absorção no meio aquático ocorre devido a quatro componentes: a própria água, compostos dissolvidos, fitoplâncton e material particulado (partes orgânica e inorgânica) (KIRK, 1980).

O coeficiente de atenuação total da luz subaquática foi determinado de acordo com SMITH (1980) e WETZEL (1975), em função de suas componentes:

$$K_t = K_w + K_c + K_x$$

Onde:

K_w → coeficiente de atenuação devido a água e compostos dissolvidos

K_x → coeficiente de atenuação devido ao material em suspensão
(orgânico e inorgânico)

K_c → coeficiente de atenuação devido a clorofila

A componente K_c é dada por $C \times 0,016$, onde C é a concentração de clorofila e $0,016$ é a atenuação específica da clorofila (DUBINSKY & BERMAN, 1979; YENTSCH, 1980).

Estas componentes, assim especificadas, constituem os maiores constituintes para a atenuação da luz solar subaquática, sendo possível estabelecer que contribuição cada uma delas fornece para todo o processo.

A atenuação da luz solar subaquática em águas naturais é, portanto, uma interação complexa dos vários fatores até então discutidos. Outros fatores,

de importância significativa, podem ser relacionados como: a morfometria da região, posição do corpo d'água (latitude, longitude), condições climatológicas e hidrológicas, época do ano, atividade antrópica nas vizinhanças do corpo d'água, e outros. De certa forma, tais fatores influenciam grandemente na atenuação da luz solar subaquática, implicando na entrada de material particulado e dissolvido no sistema aquático e interferindo no processo de circulação do mesmo.

Este conjunto de condições e fatores agem sobre o ambiente aquático, determinando um clima de radiação solar subaquática, e conseqüentemente a vida neste ambiente.

3.4.2 Zona eufótica e transparência da água

A penetração de luz no ambiente aquático ocorre de conformidade com o clima de radiação solar subaquática estabelecido, de forma que a parte iluminada da coluna d'água, denominada de zona eufótica (Zeu), pode variar. O limite inferior desta, é geralmente considerado como sendo a profundidade na qual a intensidade luminosa corresponde a 1% da que atinge a superfície (COLE, 1979).

Um dos métodos mais simples da medida da zona eufótica é através da utilização do disco de Secchi. Com a medida da profundidade Secchi, ZDS, ou transparência da água, é possível estimar a profundidade da zona eufótica: Zeu.

Segundo MARGALEF (1983), ajustes empíricos foram realizados por diversos autores, sendo aceito o fator 3,0, para relacionar a profundidade da zona eufótica com a profundidade Secchi, onde:

$$\text{Zeu} = 3 \times \text{ZDS}$$

Outra estimativa que pode ser feita, com a medida da profundidade Secchi, ZDS, é para o coeficiente de atenuação total da luz subaquática. Com base na observação empírica de POOLE & ATKINS (1929), obtiveram:

$$K_t = 1,7/ZDS,$$

e KIRK (1983), considerou ser melhor atribuir o valor:

$$K_t = 1,44/ZDS,$$

pois segundo este último autor, o coeficiente de atenuação total da luz subaquática, assim formulado, abrange ampla faixa espectral que corresponde grosseiramente à curva de sensibilidade espectral do olho humano.

A medida da profundidade Secchi, por ser uma avaliação visual do disco dentro do corpo d'água sugere muitas dificuldades no estabelecimento de um valor confiável, e segundo ESTEVES (1988), pode ocorrer que:

- i) Parte da luz incidente no disco seja espalhada, saindo do caminho óptico do observador;
- ii) Parte da luz refletida, a partir do disco seja espalhada, não retornando pelo caminho óptico do observador;
- iii) A luz espalhada, fora do caminho óptico original, atinja este caminho, passando a ser envolvida no processo de observação.

A Figura 6, ilustra bem esta situação, caracterizando dois ambientes diferenciados quanto a concentração de material suspenso. Em (A) é apresentado um ambiente de águas claras, sendo a luz atenuada preponderantemente devido ao processo de absorção, com espalhamento muito reduzido e valor estimado para ZDS, bem próximo ao do real. Em (B), é apresentado um ambiente de águas turvas, com atenuação da luz subaquática devido a absorção e, principalmente espalhamento, podendo-se obter o valor para ZDS, subestimado em relação ao valor real.

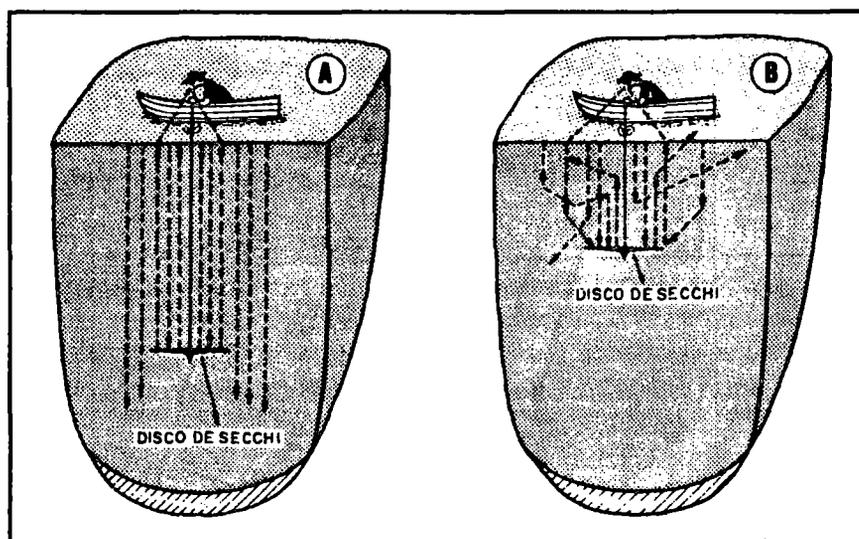


FIGURA 6 - Implicações ópticas da medida da profundidade Secchi, ZDS, em ambientes de águas claras (A) e de águas turbidas (B)
Fonte: ESTEVES, 1988

Embora dificuldades existam na utilização do disco de Secchi, como instrumento de medida, por meio de seus dados, pode-se obter informações acerca da penetração da luz solar subaquática em estudos limnológicos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização do Ambiente de estudo

4.1.1 Represa do Lobo (Broa)

Segundo CALJURI (1988), a represa do Lobo (ou Broa), ou represa da Usina do Lobo, foi construída em 1936, para produzir energia elétrica.

Localiza-se entre os municípios de Brotas e Itirapina, na região central do Estado de São Paulo (Latitude 22°15'S e Longitude 047°49'W), como ilustra a Figura 7.

Hoje inserida em área de proteção ambiental, além de recreação, o Broa está sendo usado para pesquisa científica experimental e aplicada.

A bacia hidrográfica do Reservatório é formada por uma rede de pequenos rios com padrão dendrítico. Ao longo desses rios tem-se a presença de mata galeria com alta diversidade da fauna e acúmulo de matéria orgânica (TUNDISI, 1986).

As características gerais da bacia são:

Área.....	227,7 Km ²
Densidade de drenagem	0,75 Km/Km ²
Declividade da bacia.....	0,00575 m/m
Altitude máxima	940 m
Altitude média	770 m
Altitude mínima.....	680 m

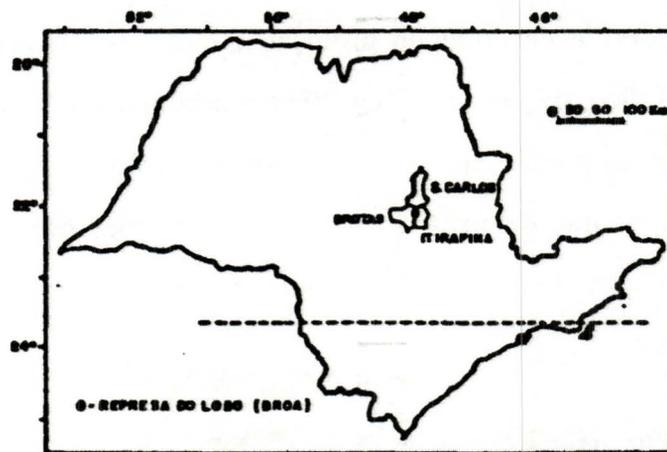
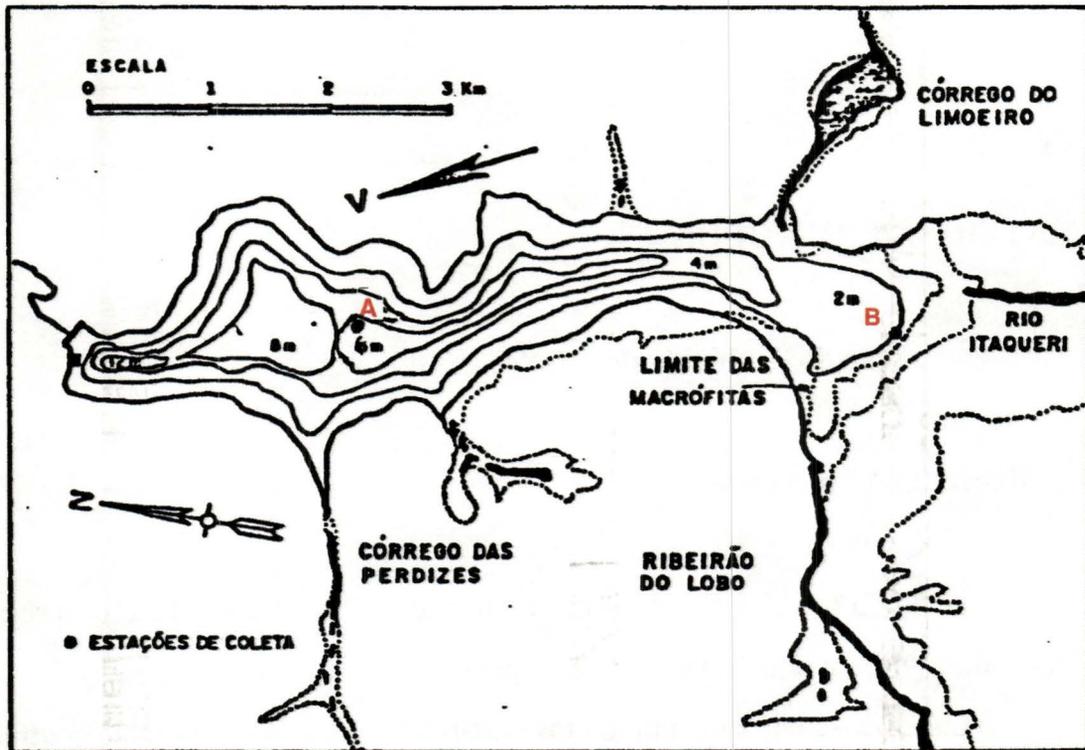


FIGURA 7 - Represa do Lobo (Broa). Principais formadores, morfometria, limite de macrófitas, direção dos ventos predominantes e estações de coleta (A e B). Sua localização no estado de São Paulo

Fonte: CALIJURI, (1988).

O clima da região é controlado pelas massas de ar equatorial e tropical com períodos seco (maio a outubro) e úmido (novembro a março ou abril). Algumas influências das frentes frias do sul são típicas, principalmente durante o outono e inverno. O inverno (junho a setembro) é seco com chuvas escassas ou ausentes. De acordo com a classificação de Köppen, o clima pode ser considerado como Cwai-Awi, ou seja, quente com um período seco (TUNDISI, 1986).

A bacia hidrográfica do Reservatório do Lobo (Broa) é originada pela captação artificial dos ribeirões do Lobo e Itaqueri e pelos córregos do Geraldo e das Perdizes. Suas águas percolam uma vasta área de sedimentos holocênicos, apresentando em alguns pontos intrusão de basalto.



FIGURA 8 - Vista parcial da margem da Represa do Lobo, nas imediações do ponto A, de coleta, com profundidade de aproximadamente 6,0m (em 05/03/96)

Nessa região afloram rochas da formação Serra Geral (Basalto, Arenito, Intertrap e Diabásico), da formação Botucatu-Pirambóia e do grupo Bauru (Arenitos, Siltitos e Conglomerados), situada na região Centro-Leste do Estado de São Paulo. Assim, o solo dessa bacia pode ser classificado em oito tipos diferentes: Hidromórficos, Orgânicos, Latossolos (amarelo e vermelho), Regossolos, Litólicos, "terra-roxa" (solo derivado do Basalto), Podzólicos e arenosos (originados do Quartzo).

A vegetação predominante nessa região é o cerrado, sendo substituído por mata galeria nas áreas de solos mais úmidos e férteis e, por pântanos na porção superior dos rios. Ocorrem áreas de reflorestamento com *Pinus* sp e *Eucalyptus* sp, além de atividade agrícola permanente e ocasional (TUNDISI, 1986).

O reservatório é polimítico devido à ação constante de ventos na direção ao eixo principal (sul para norte), produzindo turbulência durante todo ano. É um ecossistema tropical raso, oligomesotrófico, com elevada insolação, turbulento, instável termicamente, deficiente em alguns nutrientes, e com a zona eufótica atingindo grande parte da coluna d'água (Figura 8).

As suas características morfométricas são:

Comprimento máximo	8 Km
Largura máxima	2 Km
Largura média	0,9 Km
Profundidade máxima	12,0 m
Profundidade média	3,0 m
Área de superfície	6,8 Km ²
Perímetro	21,0 Km
Volume.....	22,0 x 10 ⁶ m ³

O tempo médio de residência da água no reservatório é de, aproximadamente, 20 dias.

Essa represa está localizada em uma região de solos pobres em nitrogênio e fósforo (solos de cerrado). Para HENRY et al. (1983), o "input" de nitrogênio e fósforo é devido às atividades agrícolas e estes nutrientes são removidos por um extenso crescimento de macrófitas na região superior da represa (Figura 9) (CALIJURI, 1988).



FIGURA 9 - Vista parcial da Represa do Lobo, nas proximidades do ponto de coleta B, com praticamente 1,40 m de profundidade (em 04/03/96). Região caracterizada por reflorestamento e crescimento de macrófitas

As variações sazonais na temperatura da água e a radiação solar, dentre outros fatores podem também influenciar o crescimento das macrófitas. De forma que, para este reservatório raso e turbulento, pode-se fazer um estudo,

relacionando as variáveis ecológicas com as propriedades ópticas do mesmo.

Para CALIJURI & TUNDISI (1990), as alterações ambientais detectadas devidas às atividades antrópicas são desflorestamento, despejos domésticos e de fertilizantes em áreas agrícolas e também aquelas relacionadas com recreação.

4.1.2 Represa de Barra Bonita

Conforme CALIJURI (1988), o reservatório de Barra Bonita foi construído em 1963, constituindo-se parte do complexo de barragens situadas no Rio Tietê, cuja finalidade principal é gerar energia elétrica.

A represa está inserida na Bacia do Médio Tietê Superior, entre os municípios de Barra Bonita e de Igarapu (Latitude 22°29' S e Longitude 048°34' W), a uma altitude de 430 m e distante 250 Km, em linha reta, da capital do Estado de São Paulo (Figura 10).

Localiza-se, a represa de Barra Bonita, na região mais populosa e desenvolvida do interior do estado, delimitada pela parte do Vale do Tietê compreendida entre as seções das barragens de Pirapora e de Barra Bonita. Ela é formada principalmente pelo represamento dos rios Tietê e Piracicaba, mas conta também com a participação de inúmeros tributários de maior ou menor importância.

Além de ser um importante recurso hídrico-energético, a represa de Barra Bonita é destinada a múltiplos fins, tais como transporte fluvial, irrigação, piscicultura, recreação, abastecimento e ao desenvolvido complexo industrial da região, com a presença de uma das maiores indústrias de álcool do mundo (1,7 milhões de litros por dia) que descarrega seus resíduos no Rio Tietê causando grandes impactos (CALIJURI, 1988).

O reservatório de Barra Bonita está localizado em uma região de transição entre os climas tropical e subtropical, onde as estações anuais não são

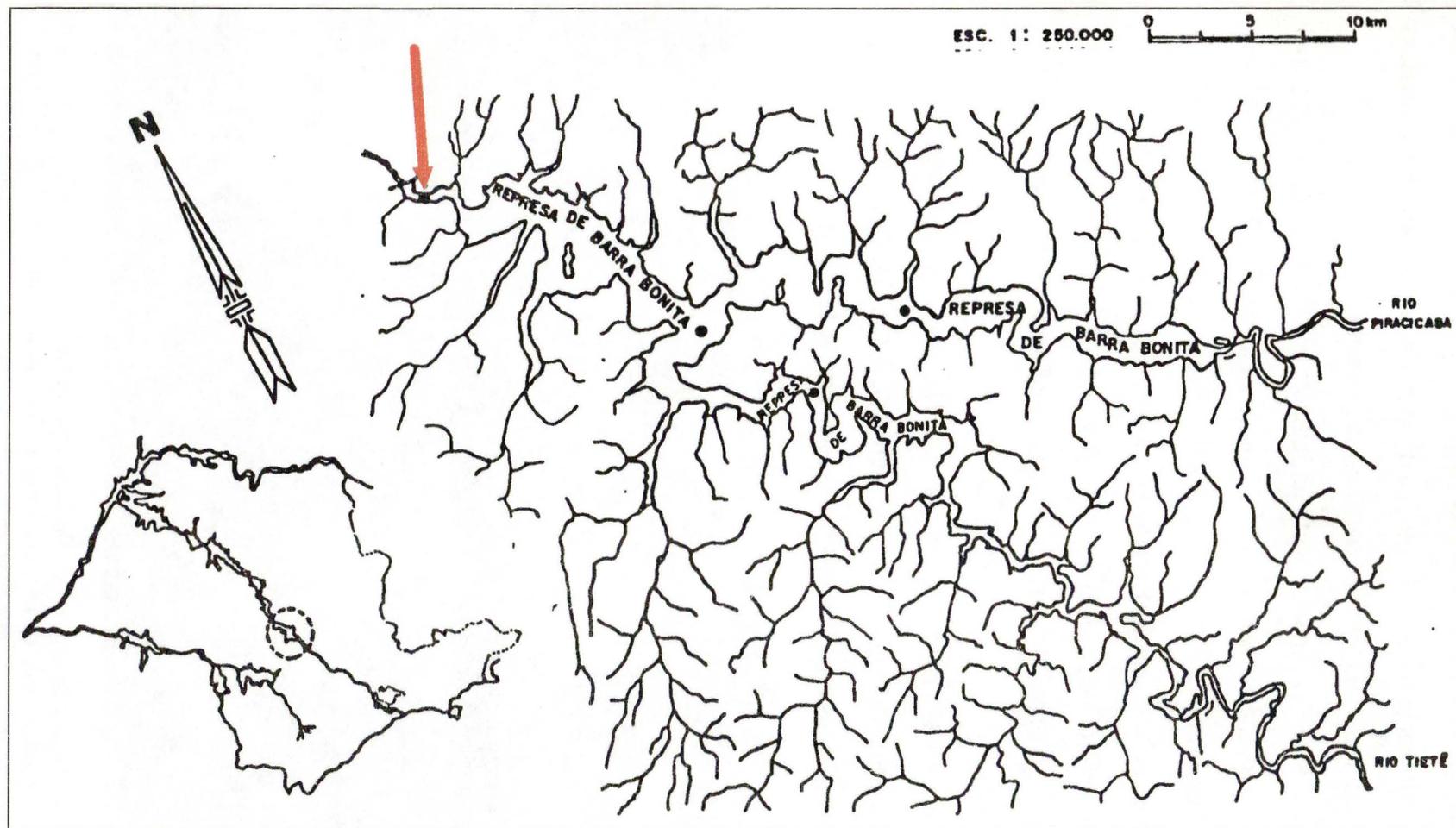


FIGURA 10 - Localização da represa de Barra Bonita no Estado de São Paulo e a indicação do ponto de coleta (↓)

Fonte: CALIJURI (1988)

bem definidas. As mudanças sazonais são pouco pronunciadas, sendo as diferenças mais nítidas entre o verão (época de maior precipitação pluviométrica) e inverno (período seco, com chuvas escassas ou ausentes).

O tipo de rocha predominante na região é o Basalto e, de acordo com o levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo (realizado pelo Instituto Agrônomo - Divisão de Solos - Seção de Pedologia - 1982), a bacia de drenagem de Barra Bonita é constituída predominantemente por latossolo roxo, eutrófico (LRe) e distrófico (LRd), de textura argilosa, aparecendo em alguns pontos, Brunizem avermelhado (BV) textura argilosa (CALIJURI, 1988).

A vegetação predominante na região de Barra Bonita é uma monocultura intensiva de cana-de-açúcar (cerca de 1.140 Km²), com a presença de uma das maiores indústrias de álcool do mundo (Figura 11) (CALIJURI, 1988).



FIGURA 11 - Vista parcial da represa de Barra Bonita, nas proximidades do ponto de coleta com profundidade de aproximadamente 24,0 m de profundidade (em 23/02/96). Caracterização da monocultura de cana-de-açúcar pela extensão da represa de Barra Bonita

Localizado em uma bacia hidrográfica com superfície de 32.330 Km², o reservatório de Barra Bonita apresenta as seguintes características morfométricas:

Profundidade média	10,2 m
Área inundada	324,84 Km ²
Perímetro	525 Km
Volume total do reservatório.....	3160 x 10 ⁶ m ³
Volume útil do reservatório.....	2600 x 10 ⁶ m ³
Descarga total do vertedouro.....	4200 m ³ .s ⁻¹

O tempo de residência da água nesse reservatório dependerá do ciclo hidrológico, sofrendo variações tanto com as mudanças climáticas quanto com os fatores geográficos. A frequência de chuva e o volume de precipitação vão reger a operação da barragem. O tempo de residência varia de 30 dias a 6 meses (TUNDISI et al., 1988).

O reservatório de Barra Bonita é um ecossistema polimítico, com profundidade moderada dentro do Estado de São Paulo, nos quais os ventos predominantes são o Leste e o Sudeste.

Para HENRY et al. (1985 e 1988), o nitrogênio e fósforo não são fatores limitantes nesse reservatório, na qual a alta contribuição de nutrientes durante a estação chuvosa é devida ao "input" de nutrientes por drenagem de áreas agrícolas. O efeito limitante da penetração da radiação solar na atividade fotossintética é muito maior do que o de nutrientes. De modo que se torna relevante um estudo das propriedades ópticas deste reservatório e, também, uma análise tanto da qualidade como disponibilidade da radiação solar.

4.2 Metodologia

4.2.1 Considerações gerais

É de grande relevância o estabelecimento de cada etapa do processo de investigação para o desenvolvimento de um trabalho científico.

Primeiramente foram determinados os locais para serem efetuados os estudos, escolhendo-se duas estações de coleta para a represa do Lobo, denominados Pontos A e B (Figura 7) e uma estação para o reservatório de Barra Bonita, próximo à barragem (Figura 10).

Para cada reservatório, foram efetuadas medidas da transparência da água, das intensidades luminosas total e seletiva e também da radiação solar subaquática, na faixa do visível, segundo diferenciação do comprimento de onda, "quantas" disponíveis e energia, para diferentes profundidades dos mesmos. Simultaneamente foram avaliadas as variáveis abióticas (físicas e químicas), bióticas (clorofila), e climatológicas envolvidas.

O estabelecimento das profundidades de coleta da água para as análises laboratoriais, foi baseado nas leituras da intensidade luminosa subaquática correspondentes a 100%, 10% e 1% da mesma.

As amostras de água foram coletadas segundo este critério, com a garrafa de "Van Dorn", de PVC, com 5 litros de capacidade. Estas amostras foram transportadas para o laboratório em bujões de plástico, sendo uma parte imediatamente filtrada e acondicionada para posterior análise. A outra parte da amostra foi utilizada para a determinação do espectro da água.

As coletas e as respectivas medidas foram realizadas em dois períodos típicos do ano: o período seco (inverno) e o de alta precipitação (verão), sendo:

- Verão: Período chuvoso

As atividades de campo para a represa de Barra Bonita foram realizadas no dia 23/02/96, e para as duas estações de estudo da represa do Lobo, em 05/03/96 e 04/03/96, para os pontos A e B, respectivamente.

- Inverno: Período Seco

Nessa época do ano estas atividades foram realizadas nos dias: 01/08/96 para a represa de Barra Bonita, 26/09/96 para o ponto A e 30/09/96 para o ponto B da represa do Lobo.

As atividades de campo foram desenvolvidas entre as 09:00h e as 16:00h, efetuando-se medidas de hora em hora. A descrição do levantamento de dados e da realização de cada medida em campo, é relatada a seguir.

4.2.2 Variáveis climatológicas

As variáveis climatológicas envolvidas no estudo do regime de luz subaquática foram: temperatura do ar, temperatura da água do reservatório, precipitação pluviométrica, intensidade dos ventos (velocidade do vento), pressão atmosférica, umidade relativa, insolação e radiação solar incidente na superfície terrestre.

Para a represa do Lobo, estas medidas foram fornecidas pela Estação Meteorológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Escola de Engenharia de São Carlos, (Universidade de São Paulo), localizada à margem direita desta represa. As medidas de tais variáveis para a represa de Barra Bonita foram cedidas pela Estação Meteorológica da CESP, em Barra Bonita.

4.2.3 Variáveis abióticas: físicas e químicas

4.2.3.1 pH, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido e temperatura da água

As leituras na coluna d'água, para estas variáveis, foram realizadas de 50 em 50 centímetros, com o intervalo de tempo de 1 hora para cada leitura, durante o período de estudo considerado (das 9:00h às 16:00h).

O aparelho utilizado para efetuar tais medidas denomina-se Horiba U-10 N-8F Digital, cujas especificações são dadas a seguir:

TABELA 2 - Especificações do aparelho Horiba U-10, para as medidas de pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade e turbidez.

Especificações	pH	Temperatura	Oxigênio Dissolvido	Condutividade	Turbidez
Unidade	---	°C	mg/L	mS/cm	NTU
Faixa	0 - 14	(0 - 50)°C	(0 - 19,9)mg/L	(0 - 100)mS/cm	(0 - 800)NTU
Escala:					
i) Padrão	0,1pH	1°C	0,1mg/L	(0 - 1):0,01mS/cm	10NTU
ii) Expandido	0,01pH	0,1°C	0,01mg/L	(10 - 100):1mS/cm	1NTU
Precisão	± 0,05pH	± 0,3°C	± 0,1mg/L	± 1%F.S.	± 3%F.S.

4.2.3.2 Concentração de material em suspensão

Para a determinação do material em suspensão foi utilizado o método gravimétrico, segundo técnica descrita por TEIXEIRA et al. (1965) e TUNDISI (1969), ligeiramente modificada, com base em WETZEL & LIKENS (1991).

Para a amostra de água coletada, foi determinado o volume de água a ser filtrado em Filtros Whatmann GF/C, previamente calcinados em mufla a

460°C por uma hora, e pesados (P_0) em balança digital (Mettler). Filtrada a amostra, foi colocada em estufa a 65°C por 24 horas para posteriormente ser mantida no dessecador. Eliminada a umidade, foi efetuada nova pesagem dos filtros cujo valor subtraído de P_0 forneceu o material em suspensão total (material orgânico e inorgânico): P_1 . Por meio de outra calcinação dos filtros encontrou-se P_2 , correspondente ao peso dos filtros sem matéria orgânica. Pela diferença entre P_1 e P_2 obteve-se a fração de matéria orgânica.

Através do volume filtrado conhecido, foram obtidos os valores de material em suspensão total e suas frações por volume de água no reservatório em questão. Os cálculos foram expressos em mg/L, sendo que na represa de Barra Bonita o volume da amostra considerada foi de 500 mL e na represa do Lobo de 250 mL.

4.2.4 Transparência da água

Esta medida pode ser obtida com a utilização do Disco de Secchi, que consiste de um disco branco com praticamente 30cm de diâmetro. Este disco foi mergulhado na água, através de um cordão graduado (com escalas marcadas em metros ou centímetros) até a profundidade de desaparecimento do mesmo, denominada profundidade Secchi.

A penetração de luz no corpo d'água (profundidade da zona eufótica), corresponde aproximadamente ao triplo da profundidade Secchi, de acordo com MARGALEF (1983). A determinação da profundidade Secchi, portanto, possibilita fazer-se uma estimativa da extensão da zona eufótica no ponto de estudo do corpo d'água. Assim:

$$Z_{eu} = 3.Z_{DS}$$

4.2.5 Radiação solar subaquática

A radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) ocorre aproximadamente entre 380nm e 700nm, constituindo cerca de 46 a 48% da energia total que incide sobre a superfície terrestre (KIRK, 1983). A quantidade de energia que chega na superfície de um corpo d'água por unidade de área em um determinado intervalo de tempo pode ser expressa pelas unidades de medida: $J. m^{-2}.s^{-1}$, $Cal.cm^{-2}.s^{-1}$, $\mu Einstein. m^{-2}.s^{-1}$ (WETZEL & LIKENS, 1991).

Sensores quânticos que medem a radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) contém filtros que possibilitam a medida na faixa da luz visível. Para a determinação desta radiação foi utilizado o instrumento denominado "Quantameter" LI-COR (LI-185A), de configuração 4π que permite captação de radiação em todas as direções, na faixa do espectro de radiação para a fotossíntese entre 400 nm e 700 nm aproximadamente.

As medidas foram realizadas de uma em uma hora, pelo período das 9:00h às 16:00h a cada 0,25m, em $\mu Einstein. m^{-2}.s^{-1}$. Estes dados permitiram a obtenção de um perfil da R.F.A. no interior da massa de água.

4.2.6 Medida da penetração de luz subaquática

A penetração de luz no sistema aquático foi medida pelo fotômetro aquático, denominado Hidrofotômetro (Modelo Nº 268WA310 GM MFG & Instrument Corp. Bronx N.Y. 10 451), que contém fotocélulas, cujas respostas na presença de luz são dadas em corrente elétrica (μA), por meio de um microamperímetro a ele conectado. Este instrumento permite que sejam posicionados sobre estas fotocélulas, filtros com uma faixa espectral estreita e específica para determinados comprimento de onda, obtendo-se a penetração de luz seletiva nas faixas do verde, vermelho e azul.

As medidas foram efetuadas de maneira análoga às do "Quanta-meter", sendo considerado como 100%, o percentual de intensidade luminosa total incidente sobre a superfície do corpo d'água no ponto de estudo. Desta forma, determinaram-se as profundidades as quais correspondiam a 10% e 1%, da intensidade luminosa que atinge a superfície da massa de água. As amostras de água foram coletadas segundo estas profundidades, para a determinação da absorvância da mesma e das concentrações de material em suspensão e de clorofila.

O Hidrofotômetro é um instrumento de configuração 2π , que permite a medida de luz mais especificamente na direção vertical, não sendo possível detectar influências de espalhamento em direções várias. Com este aparelho, foi possível determinar a profundidade da zona eufótica, para uma comparação com aquela obtida com o uso do Disco de Secchi, e também determinar o coeficiente de atenuação total da luz subaquática (K_t).

4.2.7 Determinação da absorvância da água na coluna d'água

As amostras de água foram coletadas de conformidade com as profundidades correspondentes a 100%, 50%, 10% e 1% da intensidade luminosa que atinge a superfície da água, nos horários das 09:00h, 12:00h e 15:00h.

Com a utilização do espectrofotômetro Shimadzu (UV-VIS/UV-VIS-NIR, P/N206 - 14600 - 11/206 - 13500 - 11), pôde se determinar a absorvância da água nas profundidades estabelecidas, por meio de gráficos desta em função do comprimento de onda (ver anexo), para uma ampla faixa espectral (aproximadamente 280 nm a 980 nm), sendo que para isto, foi acoplado a este aparelho um micro-computador IBM PC/PS2 e instrumentos periféricos UV - 2101 PC. A partir destes dados, calculou-se a absorvância média da água,

na faixa espectral do visível, em cada profundidade, sendo então possível determinar o componente do coeficiente de atenuação total, devido a água e compostos dissolvidos (K_w), conforme a teoria básica utilizada.

4.2.8 Variáveis bióticas: clorofila e feofitina

As amostras de água coletadas foram filtradas em laboratório utilizando-se filtros Whatmann GF/C e colocadas em envelopes de papel, sendo acondicionados em frascos âmbar contendo sílica-gel dentro de um freezer até o dia anterior à extração, sendo então transferidos para a geladeira.

Para as determinações de clorofila *a* e feofitina utilizou-se a técnica de extração com etanol 80% a quente descrita em norma holandesa (Nederlanse Norm-NEN 6520, 1981) com base em NUSCH & PALME (1975), MOED & HALLEGRAEFF (1978) E NUSCH (1980).

Para a extração de clorofila, as amostras foram colocadas em tubos de centrífuga com 10mL de etanol 80%, sendo estes colocados em banho-maria por 5 minutos a 75°C. Estes tubos foram imediatamente transferidos para água gelada, por mais 5 minutos, provocando um choque térmico, completando a extração. Os tubos foram guardados em seguida, em geladeira por um período de 12h. Antes de completar as 24h, foi feita a leitura da absorbância a 665 nm e a 750 nm por meio do espectrofotômetro MICRONAL-B280.

Parte do extrato foi acidificado com HCl 2M até que atingisse um pH entre 2,6 e 2,8. Desta forma a clorofila foi transformada em feofitina, efetuando-se outra leitura no espectrofotômetro a 665 nm e a 750 nm. Durante todo o processo de extração de clorofila e de feofitina procurou-se manter o ambiente com pouca luminosidade.

Cálculo da concentração de clorofila e feofitina:

$$Cl_a = 27,9 \cdot (E_b - E_a) \cdot V$$

$$Feof. = 27,9 \cdot [(1,7 \cdot E_a) - E_b] \cdot V$$

Onde:

E_b → Diferença das leituras entre 665 nm e 750 nm antes da acidificação

E_a → Diferença das leituras entre 665 nm e 750 nm depois da acidificação

$$V = \frac{\text{Vol. solv. usado}}{\text{Vol. água filt.} \cdot 1\text{cm}}$$

27,9 → Coeficiente de absorção específico da clorofila a

1,7 → Razão de rendimento da clorofila a não acidificada para acidificada

Esta técnica demonstrou ser eficiente na extração e determinação da clorofila a e da feofitina, principalmente por não haver maceração dos filtros o que na maioria das vezes interfere na acidificação, deixando as amostras turvas (RIETZLER, A.C., 1995).

5 RESULTADOS

Os resultados obtidos são apresentados sob a forma de tabelas e gráficos.

5.1 Determinação da Profundidade da Zona Eufótica

Os dados das Tabelas de 3 a 6, mostram os valores obtidos para as profundidades Secchi e da zona eufótica medida com a utilização do disco de Secchi, para cada estação de estudo e seus respectivos horários de observação. Nas tabelas constam ainda os valores encontrados da profundidade da zona eufótica obtida através dos dados da intensidade luminosa na coluna d'água, por meio do Hidrofotômetro.

De um modo geral, os valores obtidos para a profundidade da zona eufótica através dos dois processos de medição, foram muito próximos para ambos os reservatórios, o que demonstra a viabilidade do uso do disco de Secchi, de conformidade com a pesquisa em questão, considerando sua praticidade e simplicidade. Contudo, observou-se que no inverno (período seco) a diferença entre tais medidas foi maior em ambas as represas, devido possivelmente à ocorrência de ventos que provocam maior turbulência da água e ressuspensão de material do sedimento na coluna d'água, complicando a medida realizada com o disco de Secchi.



TABELA 3 - Profundidade da zona eufótica na represa de Barra Bonita em 23/02/96 (Período chuvoso) - Verão

Horário (h)	Zeus (m) (Hidrofotômetro)	Zds (m)	Zeus (m) (Disco de Secchi)	Zeus/Zds*
9:00	2,50	0,75	2,25	3,33
10:00	2,25	0,75	2,25	3,00
11:00	3,00	0,70	2,10	4,29
12:00	2,75	0,90	2,70	3,06
13:00	2,50	0,80	2,40	3,12
14:00	2,25	0,80	2,40	2,81
15:00	2,50	0,80	2,40	3,12
16:00	2,25	0,80	2,40	2,81
$\bar{Zeu}/Z_{m\acute{a}x}$	2,80/25 = 0,11	---	2,40/25 = 0,10	---

* Valor médio: 3,19 m

TABELA 4 - Profundidade da zona eufótica na Represa de Barra Bonita em 01/08/96 (Período seco) - Inverno

Horário (h)	Zeus (m) (Hidrofotômetro)	Zds (m)	(Disco de Secchi) Zeus (m)	Zeus/Zds*
9:00	5,00	2,00	6,00	2,50
10:00	5,75	2,10	6,30	2,74
11:00	7,00	2,30	6,90	3,04
12:00	6,25	2,50	7,50	2,50
13:00	6,00	2,50	7,50	2,40
14:00	6,00	2,20	6,60	2,73
15:00	5,75	2,40	7,20	2,40
16:00	5,50	2,40	7,20	2,29
$\bar{Zeu}/Z_{m\acute{a}x}$	5,91/26 = 0,23	---	6,9/26 = 0,27	---

* Valor médio: 2,57 m

TABELA 5 - Profundidade da zona eufótica na represa do Lobo - Ponto A em 05/03/96
(Período chuvoso) - Verão

Horário (h)	Ze _u (m) (Hidrofotômetro)	Z _{DS} (m)	Ze _u (m) (Disco de Secchi)	Ze _u /Z _{DS} *
9:00	3,25	1,10	3,30	2,95
10:00	3,75	1,10	3,30	3,41
11:00	3,75	1,10	3,30	3,41
12:00	3,50	1,20	3,60	2,92
13:00	3,25	1,20	3,60	2,71
14:00	2,25	1,20	3,60	1,87
15:00	3,25	1,20	3,60	2,71
16:00	3,25	1,25	3,75	2,60
$\bar{Z}e_u/Z_{máx}$	3,28/7 = 0,47	---	3,51/7 = 0,50	---

* Valor médio: 2,82 m

TABELA 6 - Profundidade da zona eufótica na represa do Lobo - Ponto A em 26/09/96
(Período seco) - Inverno

Horário (h)	Ze _u (m) (Hidrofotômetro)	Z _{DS} (m)	Ze _u (m) (Disco de Secchi)	Ze _u /Z _{DS} *
9:00	5,00	1,30	4,90	3,85
10:00	5,50	1,60	4,80	3,44
11:00	5,25	1,70	5,10	3,09
12:00	5,25	1,80	5,40	2,92
13:00	5,00	1,80	5,40	2,78
14:00	4,75	1,50	4,50	3,17
15:00	5,00	1,70	5,10	2,94
16:00	4,50	1,70	5,10	2,65
$\bar{Z}e_u/Z_{máx}$	5,03/8 = 0,63	---	5,04/8 = 0,63	---

* Valor médio: 3,10 m

O Ponto B, da represa do Lobo, cuja profundidade é de aproximadamente 1,5 m, apresentou praticamente toda a coluna d'água iluminada; variando o percentual da intensidade luminosa em cada ponto, à medida que aumenta a profundidade, pois dentro da água a luz é rapidamente atenuada devido a mecanismos de espalhamento e absorção.

Este fato pode ser observado mais adiante, nos gráficos obtidos relacionando a variação das intensidades luminosas total e seletiva com a profundidade dos reservatórios em estudo, evidenciando a atenuação da luz ao penetrar um sistema aquático.

5.2 Composição da Atenuação da Luz Subaquática

Os dados das Tabelas 7 a 12, mostram a parcela de contribuição da absorção dos vários componentes para a atenuação da luz ao penetrar a coluna d'água em cada estação de estudo no período chuvoso (fevereiro/março 1996 - verão), e no período seco (agosto/setembro 1996 - inverno), para os seguintes horários do dia: 09:00h, 12:00h e 15:00h.

Para os dois períodos de observação e em ambos reservatórios, ocorreu maior penetração da intensidade luminosa às 12:00h, apresentando uma ligeira diminuição no coeficiente de atenuação total neste horário, possivelmente devido a inclinação angular do Sol neste horário.

A profundidade da zona eufótica, em ambas estações de estudo, foi maior no inverno, e os coeficientes de atenuação total K_t , foram menores comparados com aqueles encontrados no verão.

TABELA 7 - Coeficiente de atenuação total da luz, K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a Represa de Barra Bonita em 23/02/96 (Período chuvoso) - Verão

Horário (h)	Intensidade Luminosa (%)	Profundi- dade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
09:00	100	0,0	1,136	0,015	1,3	0,161	14,2	0,960	84,5
	47	0,50	1,508	0,007	0,5	0,277	17,9	1,224	81,2
	01	2,50	1,892	0,007	0,4	0,241	12,7	1,644	86,9
12:00	100	0,0	0,952	0,009	0,9	0,862	90,5	0,081	8,5
	63	0,50	0,932	0,010	1,1	0,795	84,9	0,127	13,6
	01	2,75	1,593	0,009	0,6	0,312	19,6	1,272	79,8
15:00	100	0,0	1,368	0,012	0,9	0,545	39,8	0,811	59,3
	29	0,75	1,671	0,015	0,9	0,536	32,1	1,120	67,0
	01	2,50	1,904	0,010	0,5	*	-	*	-

(*) Dado não obtido

TABELA 8 - Coeficiente de atenuação total da luz, K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a Represa de Barra Bonita em 01/08/96 (Período seco) - Inverno

Horário (h)	Intensidade Luminosa (%)	Profundi- dade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
09:00	100	0,0	0,696	0,010	1,4	0,103	14,8	0,583	83,8
	50	0,75	0,839	0,022	2,6	0,094	11,2	0,723	86,2
	10	2,50	0,935	0,021	2,2	0,089	9,5	0,825	88,2
	01	5,00	0,921	0,016	1,7	0,116	12,6	0,785	85,2
12:00	100	0,0	0,608	0,017	2,8	0,125	20,6	0,466	76,6
	50	1,25	0,615	0,018	2,9	0,121	19,7	0,476	77,4
	10	3,00	0,736	0,024	3,3	0,125	17,0	0,587	79,7
	01	6,25	0,741	0,023	3,1	0,170	22,9	0,548	74,0
15:00	100	0,0	0,816	0,032	3,9	0,098	12,0	0,686	84,1
	70	0,50	0,686	0,022	3,2	0,103	15,0	0,561	81,8
	10	2,50	0,840	0,026	3,1	0,116	13,8	0,698	83,1
	1	5,75	0,807	0,021	2,6	0,161	20,0	0,625	77,4

TABELA 9 - Coeficiente de atenuação total da luz K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a Represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96 (Período chuvoso) - Verão

Horário (h)	Intensidade Luminosa (%)	Profundi- dade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
09:00	100	0,0	0,928	0,015	1,6	0,071	7,7	0,842	90,7
	44	0,75	1,102	0,014	1,3	0,152	13,8	0,936	84,9
	09	1,75	1,624	0,014	0,9	0,125	7,7	1,485	91,4
	01	3,25	1,437	0,017	1,2	0,143	9,9	1,277	88,9
12:00	100	0,0	0,624	0,015	2,4	0,125	20,0	0,484	77,6
	53	0,75	0,842	0,017	2,0	0,143	17,0	0,682	81,0
	11	2,0	1,121	0,017	1,5	0,125	11,2	0,979	87,3
	0,3	3,5	1,642	0,006	0,4	0,116	7,1	1,520	92,5
15:00	100	0,0	1,232	0,018	1,5	0,125	10,1	1,089	88,4
	31	0,75	1,543	0,020	1,3	0,134	8,7	1,389	90,0
	07	1,75	1,508	0,020	1,3	0,116	7,7	1,372	91,0
	01	3,25	1,464	0,015	1,0	0,196	13,4	1,253	85,6

TABELA 10 - Coeficiente de atenuação total da luz K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a Represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96 (Período chuvoso) - Verão

Horário (h)	Intensidade Luminosa (%)	Profundi- dade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
09:00	100	0,0	1,264	0,018	1,4	0,071	5,6	1,175	93,0
	70	0,25	1,384	0,018	1,3	0,054	3,9	1,312	94,8
	29	0,75	1,639	0,020	1,2	0,036	2,2	1,583	96,6
	17	1,00	1,768	0,019	1,1	0,054	3,1	1,695	95,8
12:00	100	0,0	1,296	0,006	0,5	0,036	2,8	1,254	96,7
	35	0,50	2,099	0,019	0,9	0,062	3,0	2,018	96,1
	8	1,00	2,525	0,015	0,6	0,080	3,2	2,430	96,2
15:00	100	0,0	3,040	0,015	0,5	0,036	1,2	*	-
	37	0,25	4,012	0,008	0,2	0,107	2,7	3,897	97,1
	7	0,75	3,610	0,016	0,4	0,036	1,0	3,558	98,6

(*) Dado não obtido

TABELA 11 - Coeficiente de atenuação total da luz K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a Represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96 (Período seco) - Inverno

Horário (h)	Intensidade Luminosa (%)	Profundi- dade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
09:00	100	0,0	0,936	0,026	2,8	0,071	7,6	0,839	89,6
	50	0,75	0,973	0,029	3,0	0,134	13,8	0,810	83,2
	12	2,25	0,921	0,036	3,9	0,134	14,5	0,751	81,6
	01	5,00	0,981	0,035	3,6	0,125	12,7	0,821	83,7
12:00	100	0,0	0,544	0,038	7,0	0,107	19,7	0,399	73,3
	45	1,25	0,643	0,036	5,6	0,134	20,8	0,473	73,6
	10	3,0	0,759	0,041	5,4	0,080	10,5	0,638	84,1
	01	5,25	0,867	0,039	4,5	0,143	16,5	0,685	79,0
15:00	100	0,0	0,784	0,033	4,2	*	-	*	-
	53	0,75	0,849	0,040	4,7	0,107	12,6	0,702	82,7
	10	3,0	0,776	0,039	5,0	0,089	11,5	0,648	83,5
	01	5,0	0,881	0,042	4,8	0,107	12,1	0,732	83,1

(*) Dado não obtido

TABELA 12 - Coeficiente de atenuação total da luz K_t , e seus componentes K_w , K_c e K_x para a Represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96 (Período seco) - Inverno

Horário (h)	Intensidade Luminosa (%)	Profundi- dade (m)	K_t (m^{-1})	K_w		K_c		K_x	
				(m^{-1})	%	(m^{-1})	%	(m^{-1})	%
09:00	100	0,0	1,504	0,065	4,3	0,286	19,0	1,153	76,7
	44	0,50	1,652	0,080	4,8	0,295	17,9	1,277	77,3
	16	1,0	1,856	0,078	4,2	0,268	14,4	1,510	81,4
12:00	100	0,0	1,128	0,067	5,9	0,250	22,2	0,811	71,9
	26	0,50	1,186	0,084	7,1	0,223	18,8	0,879	74,1
	8	1,00	1,335	0,074	5,5	0,241	18,1	1,020	76,4
15:00	100	0,0	2,008	0,055	2,7	0,143	7,1	1,810	90,2
	39	0,50	1,890	0,069	3,7	0,268	14,2	1,553	82,2
	22	0,75	2,005	0,069	3,4	0,277	13,8	1,659	82,7

A contribuição da componente K_w , nas três estações de estudo, foi maior no inverno do que no verão, provavelmente devido a maior quantidade de material dissolvido nos corpos d'água durante o inverno.

Na represa de Barra Bonita, com profundidade de aproximadamente 25 m, (Tabelas 7 e 8), a componente K_c , devido a clorofila total, e a componente K_x , devido ao material em suspensão, apresentaram relevância na atenuação da luz ao penetrar a coluna d'água, no verão. No inverno, esta parcela foi devido ao material em suspensão (componente K_x), e da componente K_w , podendo ser um indicativo do aumento de compostos dissolvidos na água nesta época do ano.

Na estação de estudo da represa do Lobo, Ponto A, com aproximadamente 6,0 m de profundidade, (Tabelas 9 e 11), a parcela de maior contribuição para a atenuação da luz solar subaquática, tanto no inverno como no verão, foi devido ao material em suspensão (componente K_x), sendo esta mais preponderante no verão.

Para o caso do mesmo reservatório, no Ponto B, com aproximadamente 1,5 m de profundidade, (Tabelas 10 e 12), no verão (período chuvoso) a parcela preponderante foi constituída pela componente K_x , devido ao material em suspensão. No inverno (período seco), ocorreu aumento da componente K_c , devido a clorofila total, e, da componente K_w , indicando assim, uma possível elevação das substâncias dissolvidas, talvez pela decomposição das macrófitas existentes próximo a este ponto de estudo. A componente K_x apresentou grande contribuição, nesta época do ano, em decorrência, provavelmente, da ressuspensão de material do sedimento devido a ação dos ventos no local.

5.3 Relações entre transparência da água, profundidade da zona eufótica e coeficiente de atenuação total da luz

Os dados das Tabelas 13 a 16, indicam os valores de transparência da

água (profundidade Secchi), profundidade da zona eufótica (profundidade na qual apresenta 1% de intensidade luminosa subaquática), coeficiente de atenuação total da luz subaquática e suas relações.

A relação $ZDS \times Kt$, foi discutida com base na observação empírica proposta por Poole e Atkins (1929) e posteriormente por Kirk (1983). De maneira análoga, na relação Zeu/ZDS , utilizou-se como referência o fator 3,0, segundo MARGALEF (1983).

TABELA 13 - Abordagem comparativa de algumas características ópticas na represa de Barra Bonita em 23/02/96 (Período chuvoso) - Verão

Horário (h)	Intensidade Luminosa (%)	Profundidade (m)	Kt (m^{-1})	ZDS x Kt ⁽¹⁾	Zeu/ ZDS ⁽²⁾
09:00	100	0,0	1,136	0,85	-
	47	0,50	1,508	1,13	-
	01	2,50	1,892	1,42	3,33
12:00	100	0,0	0,952	0,86	-
	63	0,50	0,932	0,84	-
	01	2,75	1,593	1,43	3,06
15:00	100	0,0	1,368	1,09	-
	29	0,75	1,671	1,34	-
	01	2,50	1,904	1,52	3,13

(1) Valor médio e desvio padrão: $1,16 \pm 0,27$

(2) Valor médio e desvio padrão: $3,17 \pm 0,14$

Para os horários indicados

Na época de alta precipitação (verão), para a estação de estudo de Barra Bonita (Tabela 13), a relação Zeu/ZDS , praticamente se manteve em torno do fator 3,0, durante todo o período de observação. Ocorreu aumento para $ZDS \times Kt$, à medida em que aumenta a profundidade do reservatório, de conformidade com o aumento de Kt, em cada horário observado, possivelmente em decorrência da entrada de material no ambiente aquático.

No período seco (inverno), nesta mesma estação de estudo

(Tabela 14), a relação Z_{eu}/ZDS , se manteve em torno de 2,47 durante o todo o período de observação, apresentando assim, valores menores que aqueles apresentados no verão. O comportamento de $ZDS \times K_t$, é análogo ao ocorrido no verão, com valores maiores, nesta época do ano, apresentando diminuição do coeficiente de atenuação total da luz subaquática e aumento dos valores para ZDS .

TABELA 14 - Abordagem comparativa de algumas características ópticas na Represa de Barra Bonita em 01/08/96 (Período seco) - Inverno

Horário (h)	Intensidade Luminosa (%)	Profundidade (m)	K_t (m^{-1})	$ZDS \times K_t$ ⁽¹⁾	Z_{eu}/ZDS ⁽²⁾
09:00	100	0,0	0,696	1,40	-
	50	0,75	0,839	1,68	-
	10	2,50	0,935	1,87	-
	01	5,00	0,921	1,84	2,50
12:00	100	0,0	0,608	1,52	-
	50	1,25	0,615	1,54	-
	10	3,00	0,736	1,84	-
	01	6,25	0,741	1,85	2,50
15:00	100	0,0	0,816	1,96	-
	70	0,50	0,686	1,47	-
	10	2,50	0,840	2,02	-
	01	5,75	0,807	1,94	2,40

(1) Valor médio e desvio padrão: $1,74 \pm 0,20$

(2) Valor médio e desvio padrão: $2,47 \pm 0,06$

> Para os horários indicados

Para a estação de estudo da represa do Lobo, Ponto A (Tabela 15), a relação Z_{eu}/ZDS , se manteve praticamente inalterada, em torno de 2,86, durante todo o período de observação. Os valores encontrados para $ZDS \times K_t$, de um modo geral, apresentaram aumento à medida em que aumenta a profundidade do reservatório, nos horários observados, provavelmente em decorrência da entrada de material, como ocorrido na represa de Barra Bonita.

No inverno (período seco), nesta mesma estação de estudo (Tabela 16), a relação Z_{eu}/Z_{DS} , se manteve praticamente inalterada durante o período de observação, apresentando um valor maior às 09:00h, possivelmente decorrente da dificuldade de se efetuar a mediada da profundidade Secchi, nesta época do ano, devido a ação dos ventos. Para $Z_{DS} \times K_t$, o comportamento foi semelhante àquele do verão (Tabela 15), com diminuição do coeficiente de atenuação total da luz subaquática e maior penetração de luz, com o conseqüente aumento de Z_{DS} .

Na outra estação de estudo da represa do Lobo, o Ponto B, um ambiente aquático raso, com profundidade de aproximadamente 1,5 m, sua coluna d'água foi totalmente iluminada, com a ocorrência de variação no grau de atenuação da luz solar subaquática conforme indicam os valores das Tabelas 10 e 12, para os períodos do verão (chuvoso) e do inverno (seco) respectivamente.

TABELA 15 - Abordagem comparativa de algumas características ópticas na represa do Lobo - Ponto A em 05/03/96 (Período chuvoso) - Verão

Horário (h)	Intensidade Luminosa (%)	Profundidade (m)	K_t (m^{-1})	$Z_{DS} \times K_t^{(1)}$	$Z_{eu}/Z_{DS}^{(2)}$
09:00	100	0,0	0,928	1,02	-
	44	0,75	1,102	1,21	-
	09	1,75	1,624	1,79	-
	01	3,25	1,437	1,58	2,95
12:00	100	0,0	0,624	0,75	-
	53	0,75	0,842	1,01	-
	11	2,00	1,121	1,36	-
	0,3	3,50	1,642	1,97	2,92
15:00	100	0,0	1,232	1,48	-
	31	0,75	1,543	1,85	-
	07	1,75	1,508	1,81	-
	01	3,25	1,464	1,76	2,71

(1) Valor médio e desvio padrão: $1,45 \pm 0,40$

(2) Valor médio e desvio padrão: $2,86 \pm 0,13$

Para os horários indicados

TABELA 16 - Abordagem comparativa de algumas características ópticas na represa do Lobo - Ponto A em 26/09/96 (Período seco) - Inverno

Horário (h)	Intensidade Luminosa (%)	Profundidade (m)	Kt (m ⁻¹)	ZDS x Kt ⁽¹⁾	Zeu/ ZDS ⁽²⁾
09:00	100	0,0	0,936	1,22	-
	50	0,75	0,973	1,26	-
	12	2,25	0,921	1,20	-
	01	5,00	0,981	1,28	3,85
12:00	100	0,0	0,544	0,99	-
	45	1,25	0,643	1,16	-
	10	3,00	0,759	1,37	-
	01	5,25	0,867	1,56	2,92
15:00	100	0,0	0,784	1,33	-
	53	0,75	0,849	1,44	-
	10	3,00	0,776	1,32	-
	01	5,00	0,881	1,50	2,94

(1) Valor médio e desvio padrão: $1,30 \pm 0,16$

(2) Valor médio e desvio padrão: $3,24 \pm 0,53$

Para os horários indicados

5.4 Relações entre a atenuação da luz e as concentrações de material em suspensão e de clorofila total na coluna d'água

As figuras, apresentadas a seguir, relacionam concentração de material particulado (frações orgânica e inorgânica), concentração de clorofila total e intensidades luminosas total e seletiva com a profundidade dos reservatórios em estudo, a partir de material coletado e medidas efetuadas em campo.

Represa de Barra Bonita - 23/02/96

Período chuvoso: Verão

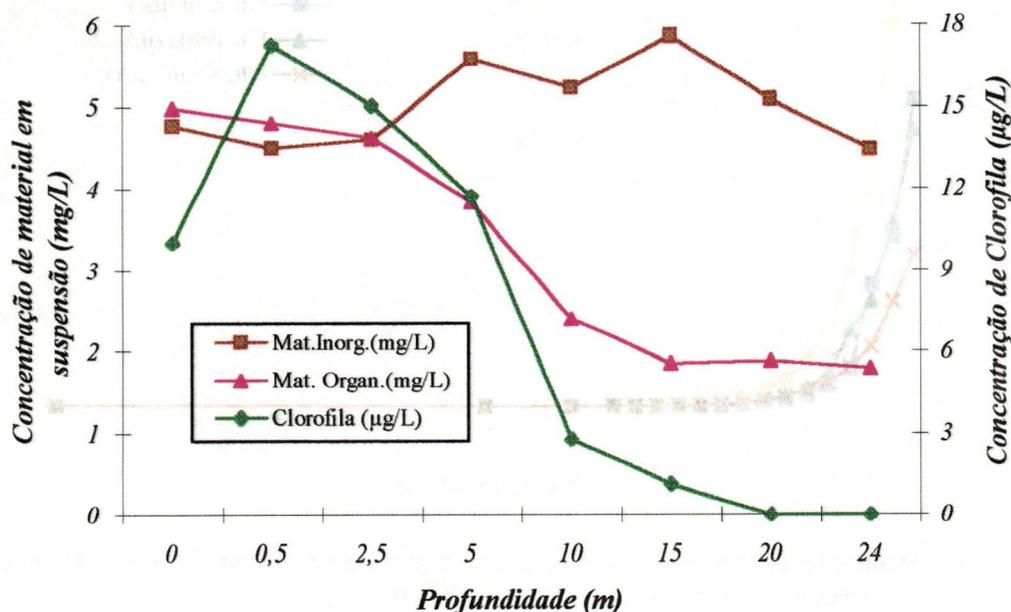


FIGURA 12 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão

Neste horário, a concentração de matéria inorgânica permaneceu praticamente inalterada por toda a coluna d'água, ocorrendo diminuição acentuada das concentrações de matéria orgânica e clorofila total na zona afótica (Figura 12).

A Figura 13 indica que a luz correspondente à faixa espectral do vermelho, disponível para o sistema aquático, apresentou a menor intensidade luminosa já na superfície do mesmo. Ao se considerar a profundidade da zona eufótica, neste horário, a atenuação da luz subaquática ocorreu mais acentuadamente na faixa espectral do azul, depois do verde e por último do vermelho.

Se ela apresentar uma intensidade luminosa, não é porque ela foi mais absorvida por algum tipo de partícula? Qual?

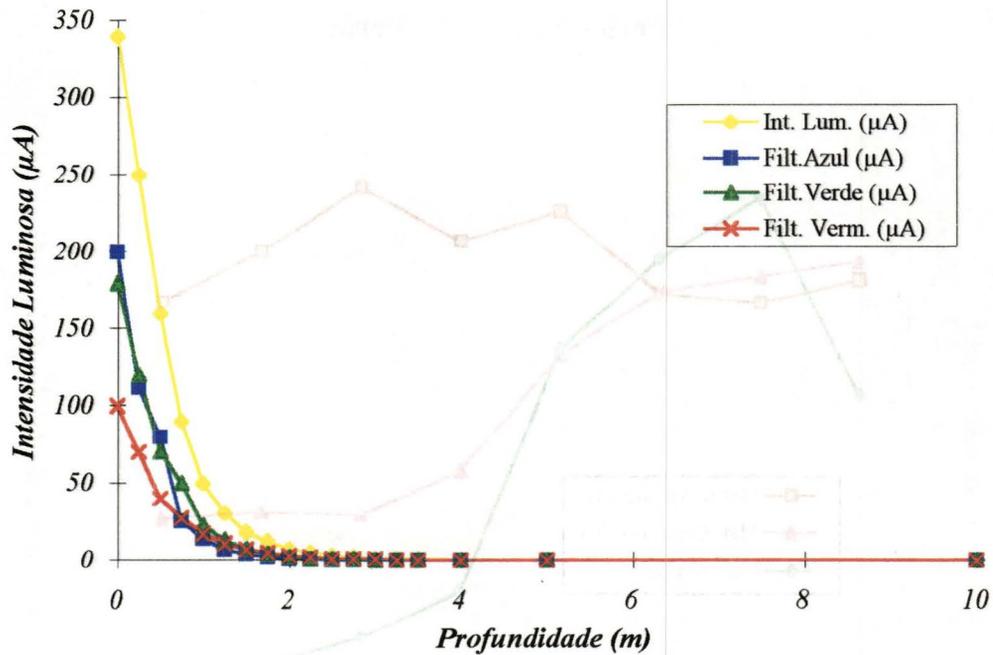


FIGURA 13 - Atenuação da intensidade luminosa total e seletiva na represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 09:00h (Período chuvoso: Verão).

Para o horário das 12:00h (Figura 14), a variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade da represa de Barra Bonita foi análoga ao ocorrido às 09:00h (Figura 12), mas com valores maiores, e aumento da intensidade luminosa total atingindo o primeiro metro do reservatório (Figura 15), sem alterar a profundidade da zona eufótica. A atenuação da luz, neste horário, ocorreu de modo semelhante nas faixas espectrais estudadas, onde as maiores diferenças na atenuação da luz subaquática parecem ocorrer nos primeiros cinquenta centímetros da coluna d'água. A atenuação na faixa espectral do azul foi ligeiramente mais acentuada que a do verde, seguida pelo vermelho.

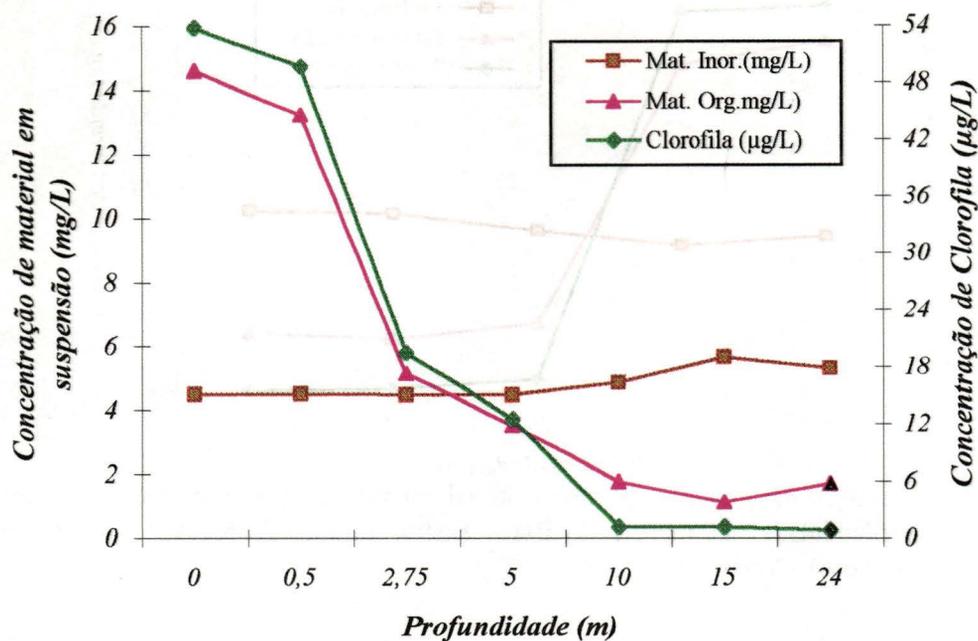


FIGURA 14 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão

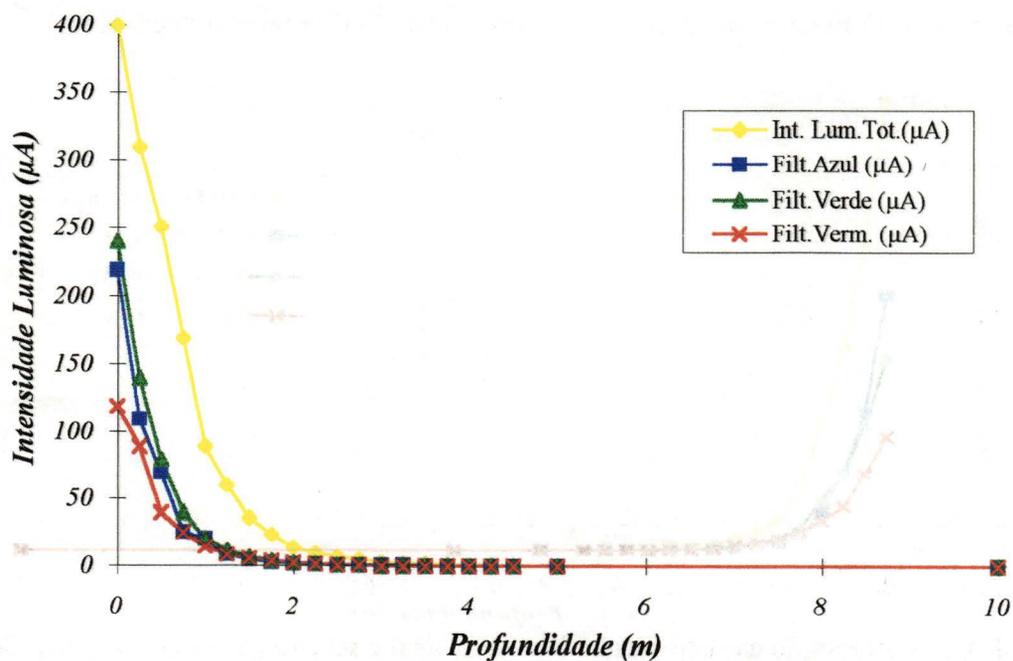


FIGURA 15 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão

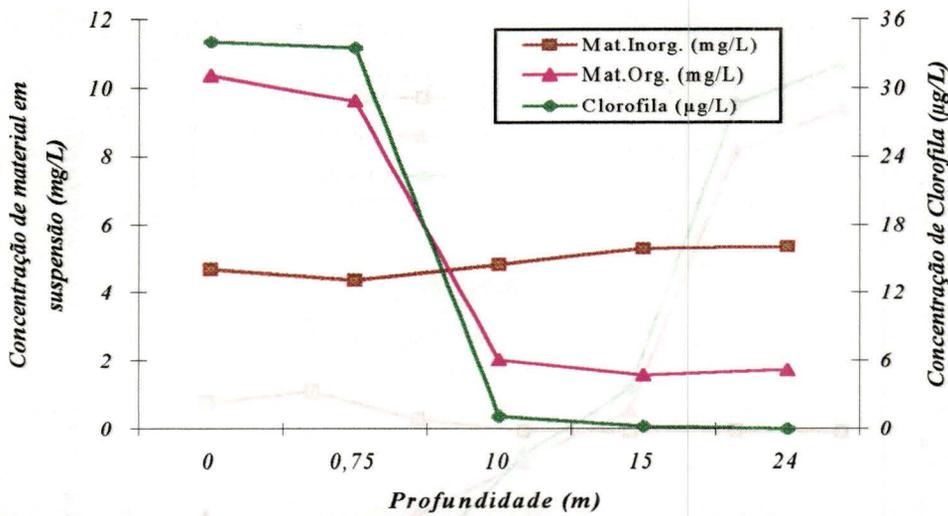


FIGURA 16 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão

Durante o dia de observação na represa de Barra Bonita, os dados das Figuras 12, 14 e 16 indicam que as concentrações de matéria inorgânica se mantiveram praticamente inalteradas por toda a coluna d'água, e os valores de concentrações de matéria orgânica foram maiores comparativamente com os de matéria inorgânica na zona eufótica, às 12:00h e às 15:00h. A concentração de clorofila total foi elevada na zona eufótica tendo um decréscimo acentuado na zona afótica. O mesmo ocorreu com a concentração de matéria orgânica.

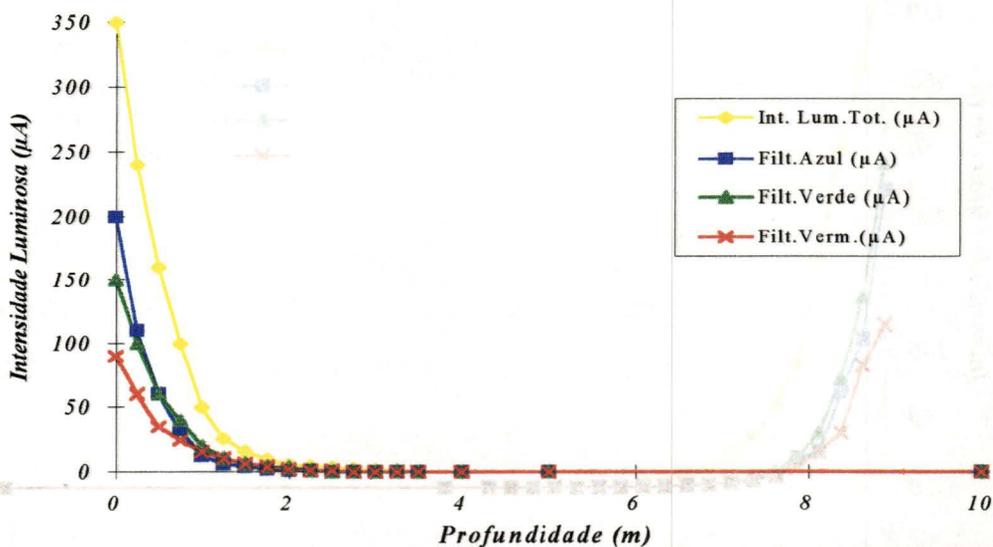


FIGURA 17 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão

A atenuação da luz na coluna d'água durante o transcorrer do dia se deu de maneira similar, apresentando a faixa espectral do vermelho menor intensidade luminosa disponível, e as faixas espectrais do azul e do verde apresentaram maiores atenuações já no primeiro metro do reservatório.

Represa de Barra Bonita - 01/08/96
Período seco: Inverno

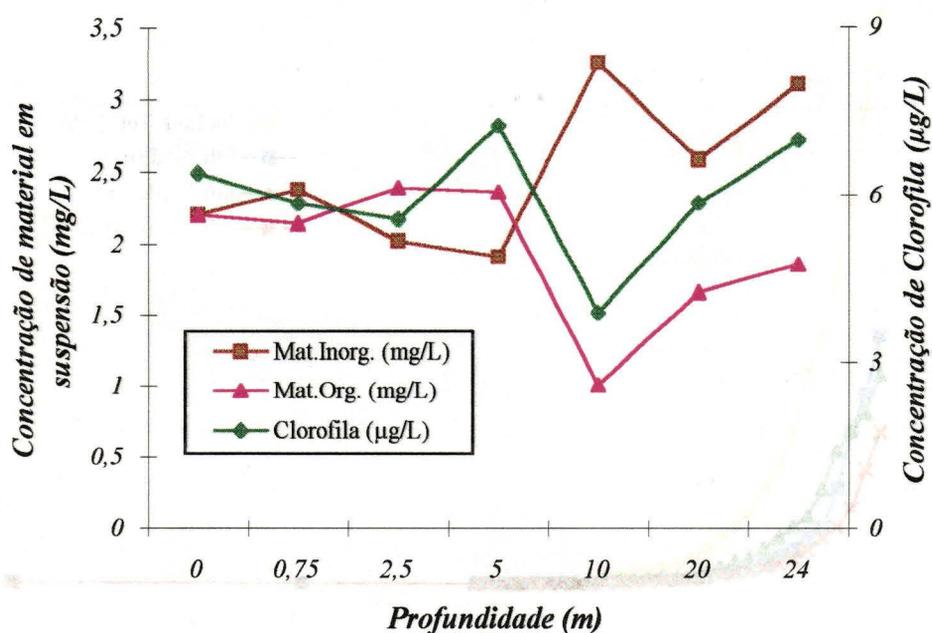


FIGURA 18 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno

Os dados obtidos na Figura 18, indicam que as concentrações das matérias orgânica e inorgânica e de clorofila não sofreram alterações significativas na região da zona eufótica, havendo um decréscimo das concentrações de matéria orgânica e clorofila total na zona afótica até aproximadamente 10,0m de profundidade, juntamente com um acréscimo da concentração de matéria inorgânica para esta mesma região.

A profundidade da zona eufótica foi maior nesta época do ano comparativamente à do período de verão, conforme mostra a Figura 19. Ainda nesta figura, pode-se observar que no primeiro metro de profundidade a atenuação da luz subaquática ocorreu mais fortemente na faixa do azul, seguida pelo verde e depois o vermelho, contudo se observou uma atenuação mais gradativa comparada com a ocorrida no verão.

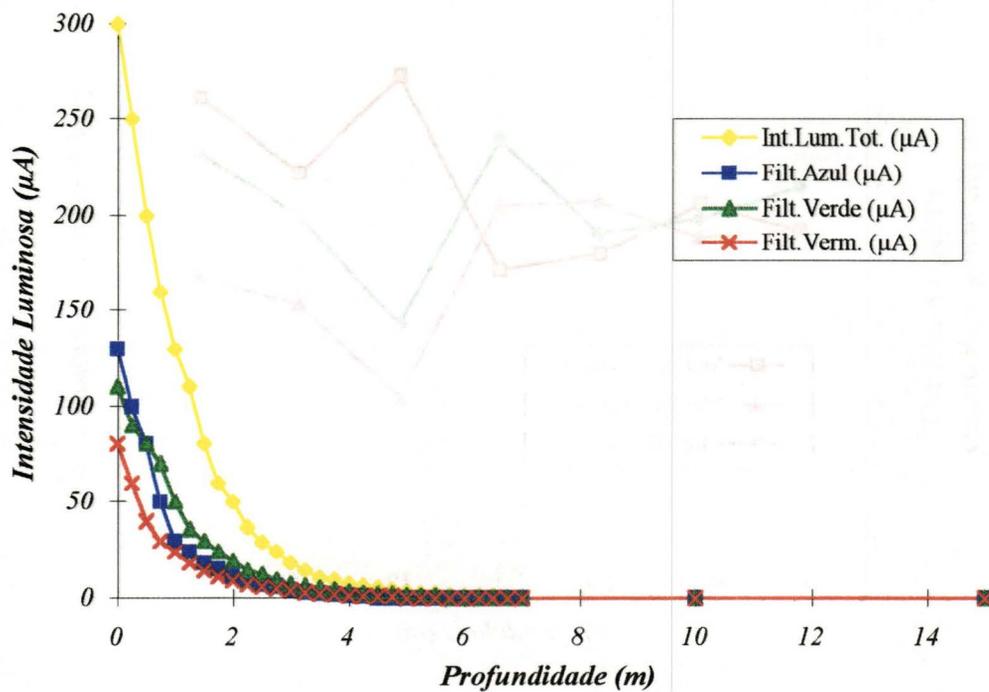


FIGURA 19 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno

A Figura 20 (12:00h), mostra que as concentrações de material em suspensão e de clorofila total não sofreram variação considerável na zona eufótica, ocorrendo apenas um acréscimo na concentração de clorofila total na profundidade de 6,25 m, seguida de diminuição na zona afótica. Observou-se, também, a ocorrência de uma elevação na concentração de matéria orgânica a 20,0m de profundidade do reservatório.

Na Figura 21 (12:00h), pôde se verificar que houve aumento da

intensidade luminosa na coluna d'água, elevando a profundidade da zona eufótica para 6,25 m. O comportamento da variação espectral da luz subaquática se manteve análogo ao do horário anterior de observação (09:00h).

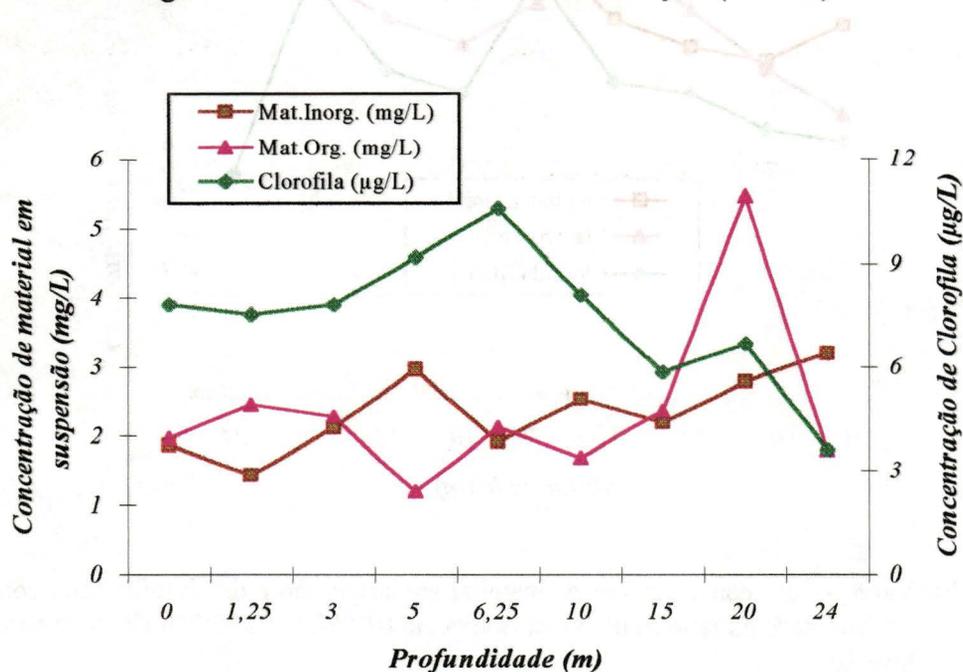


FIGURA 20 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno

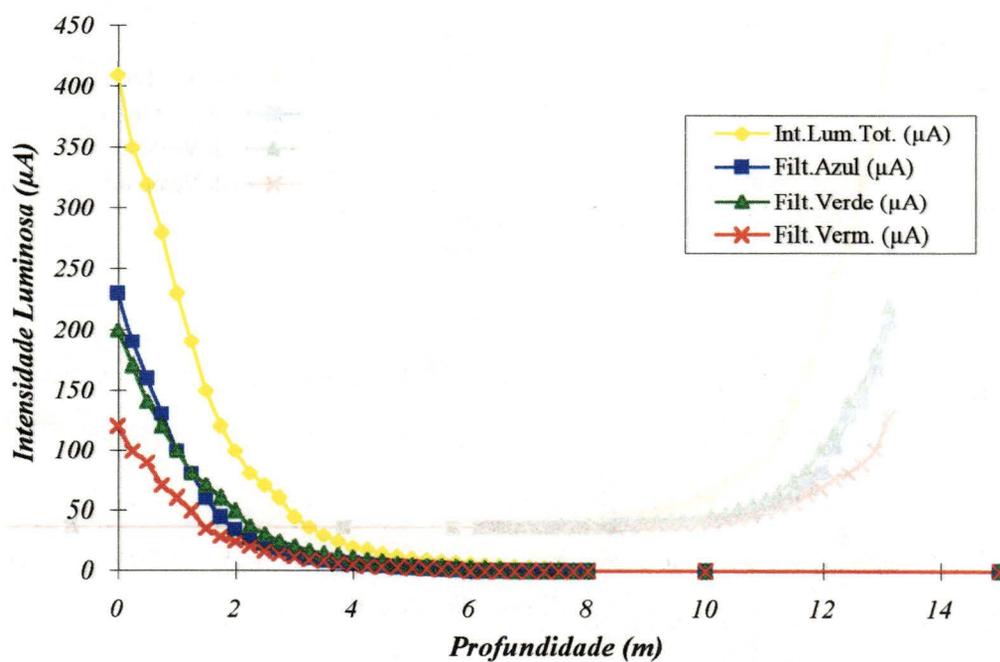


FIGURA 21 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno

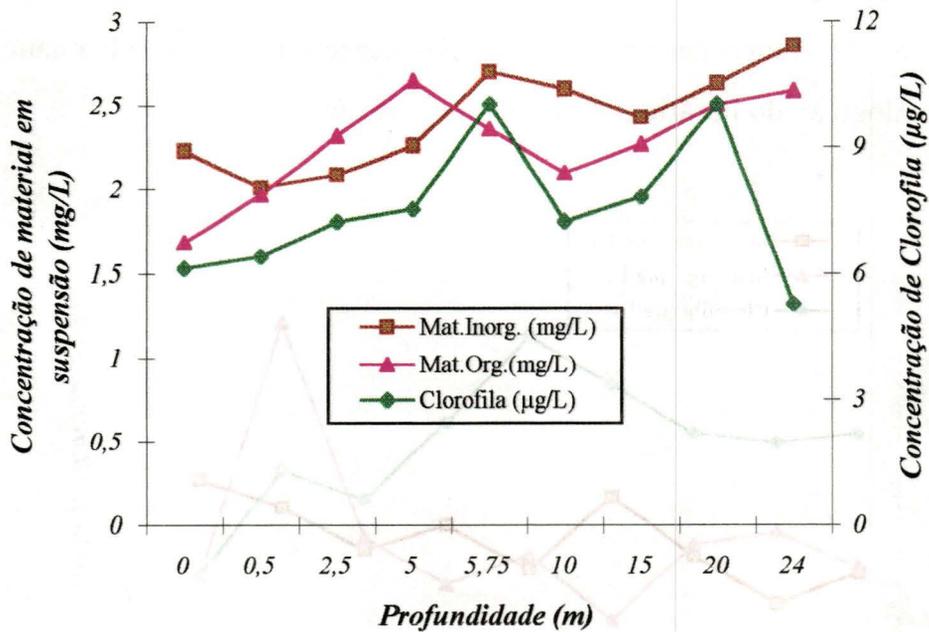


FIGURA 22 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade na represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno

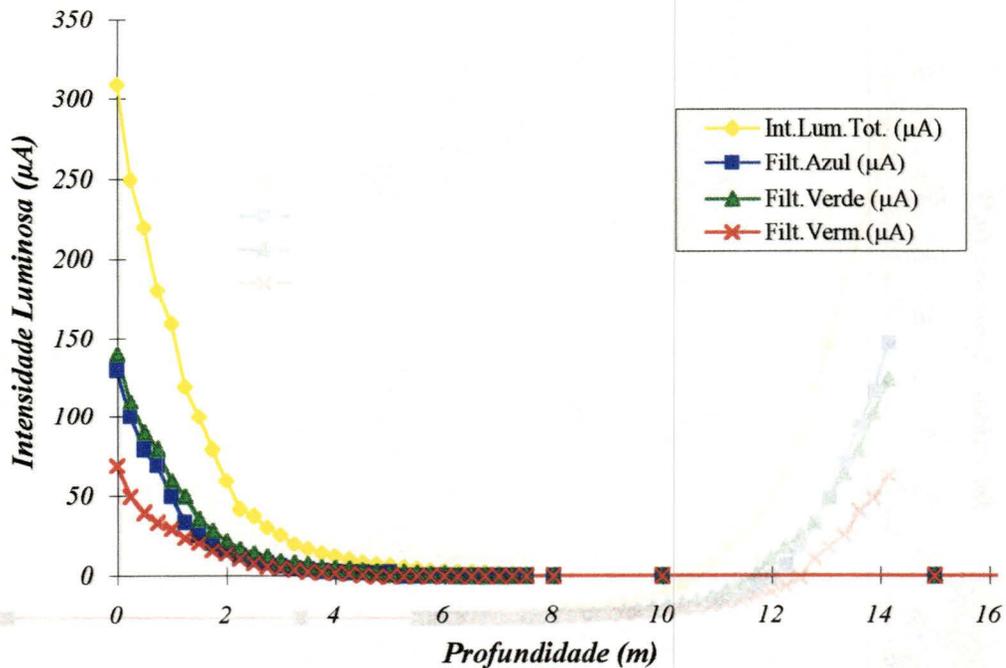


FIGURA 23 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno

A Figura 22 indica que, às 15:00h, não houve alteração significativa nas concentrações de material em suspensão e de clorofila total, ocorrendo um aumento na concentração de clorofila total nas profundidades de 5,75 m e de 20,0 m, e de matéria orgânica aos 5,0 m; e ligeira elevação da concentração de matéria inorgânica entre 5,75 m e 10,0 m.

Neste horário (15:00h), a intensidade luminosa que atingiu a superfície da água foi menor que no horário anterior, e a zona eufótica diminuiu de 0,50 m em sua profundidade. A atenuação da luz ocorreu de maneira similar nas faixas espectrais do verde e do azul e na faixa do vermelho a atenuação foi menor.

Durante este dia de observação, de um modo geral, as concentrações de material em suspensão e de clorofila total não alteraram grandemente, evidenciando-se os horários: 12:00h (6,25 m) e 15:00h (5,75 m e 20,0 m) com um aumento de concentração de clorofila, 12:00h (20,0 m) aumento de concentração de matéria orgânica.

Quanto a qualidade espectral da água, nos primeiros horários (09:00h e 12:00h) de observação, a atenuação mais acentuada da luz que penetra na coluna d'água ocorreu na faixa do azul e às 15:00h esta se deu na faixa do vermelho.



Represa do Lobo - Ponto A - 05/03/96

Período chuvoso: Verão

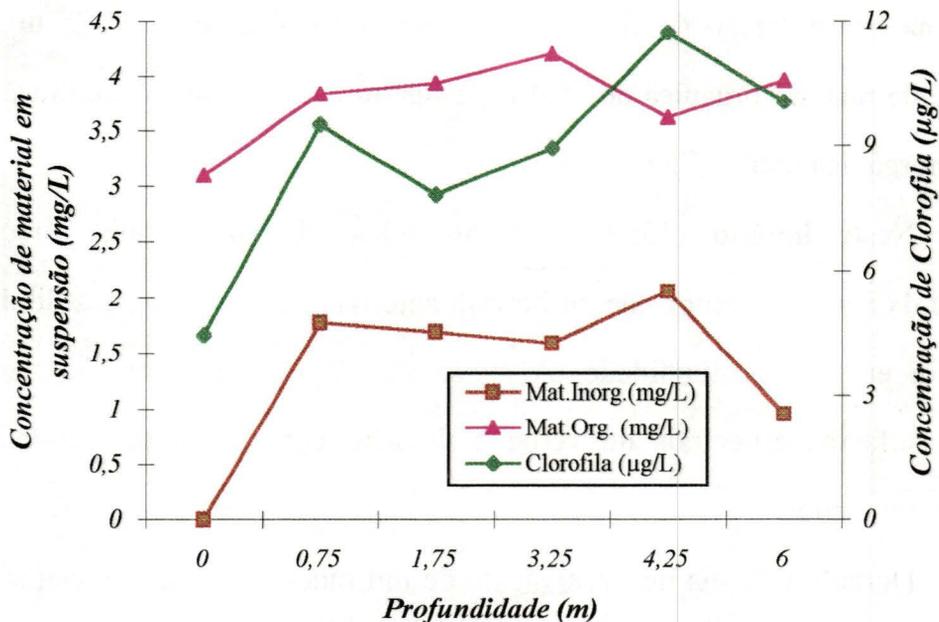


FIGURA 24 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão

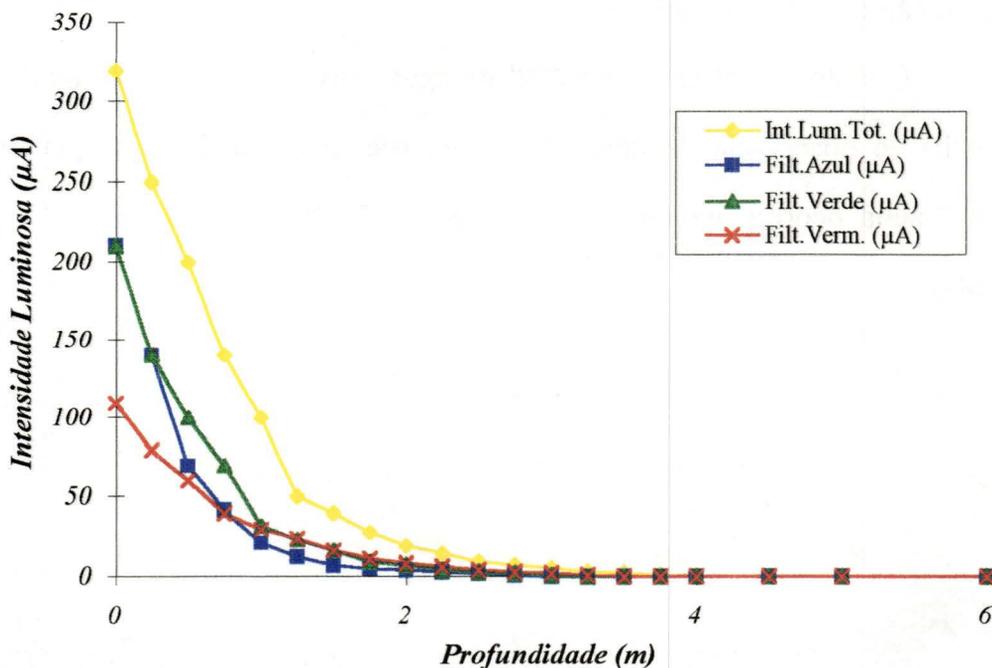


FIGURA 25 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão

No horário das 09:00h, na represa do Lobo, ponto A, com profundidade de aproximadamente 6,0 m, a variação das concentrações de material em suspensão e clorofila total (Figura 24) foram aproximadamente similares, havendo um aumento destas para a clorofila total e matéria inorgânica em 0,75 m e 4,5 m de profundidade e para a matéria orgânica este aumento ocorreu em 0,75 m e em 3,25 m.

A profundidade da zona eufótica é aproximadamente 3,25 m, ocorrendo a atenuação da luz subaquática mais acentuadamente na faixa do azul, seguida do verde e por último o vermelho, que apresentou menor intensidade luminosa disponível para o sistema aquático desde a superfície.

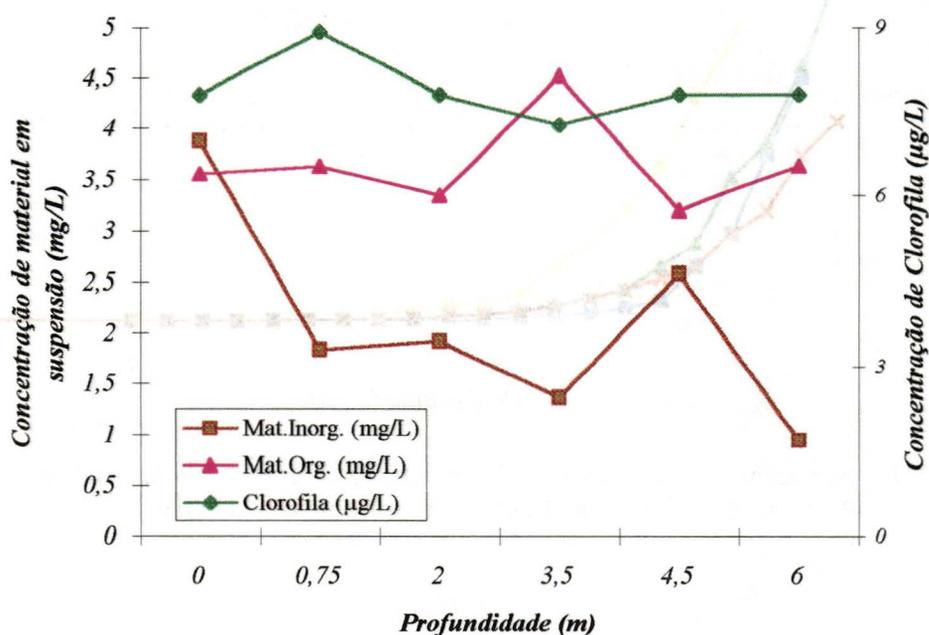


FIGURA 26 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão

As concentrações de material em suspensão e de clorofila total se mantiveram com valores aproximadamente constantes por toda a coluna d'água,

ocorrendo algumas variações, evidenciadas a seguir, às 12:00h, a concentração de matéria inorgânica foi elevada na superfície e diminuindo em seguida até aproximadamente 4,5 m de profundidade do reservatório, onde teve seu valor aumentado, enquanto que a concentração de matéria orgânica se elevou apenas na profundidade de 3,5 m, voltando a diminuir em seguida. A concentração de clorofila total apresentou um pico a 0,75 m de profundidade.

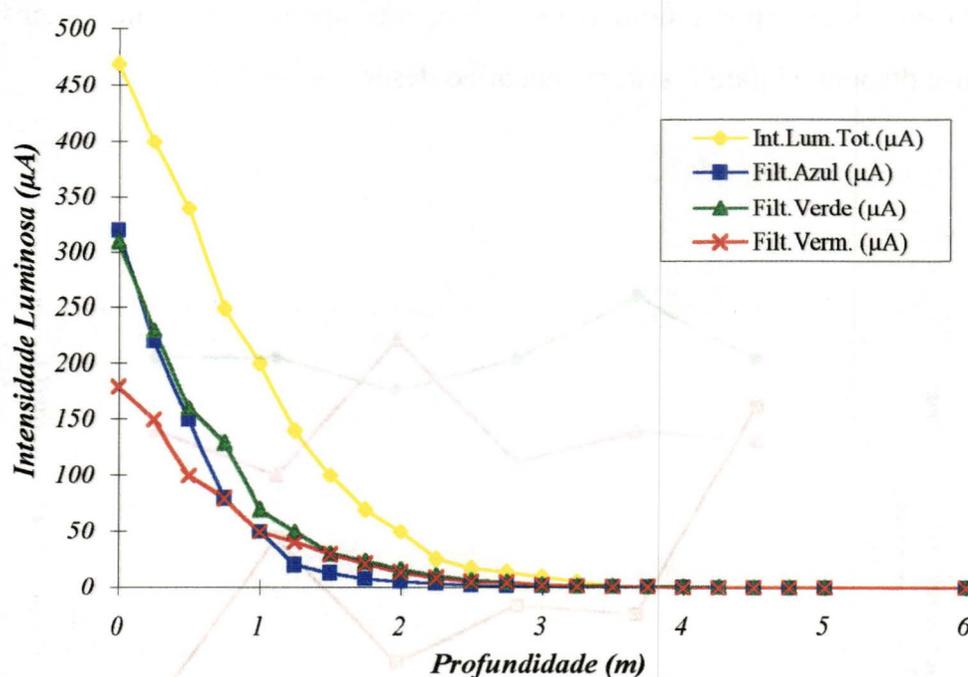


FIGURA 27 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão

A intensidade luminosa na superfície do reservatório, aumentou às 12:00h, conforme a comparação entre as Figuras 25 e 27, não ocorrendo modificação na profundidade da zona eufótica.

A atenuação da luz subaquática, neste horário, ocorreu mais acentuadamente, até 2,0 m, primeiramente na faixa do azul, seguida da faixa do verde e depois do vermelho.

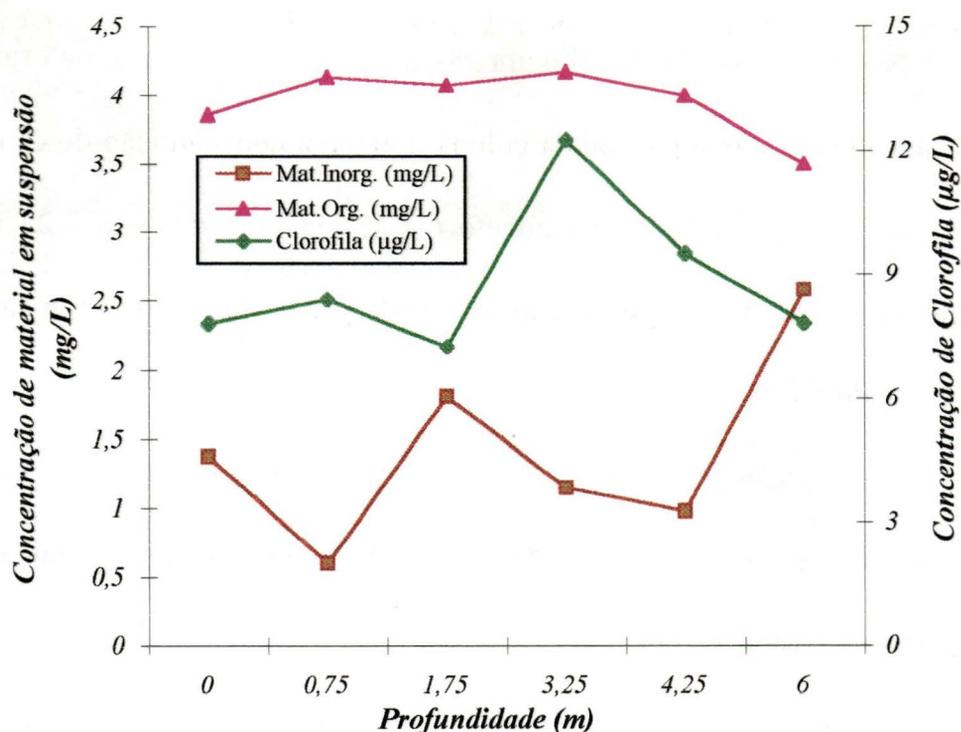


FIGURA 28 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão

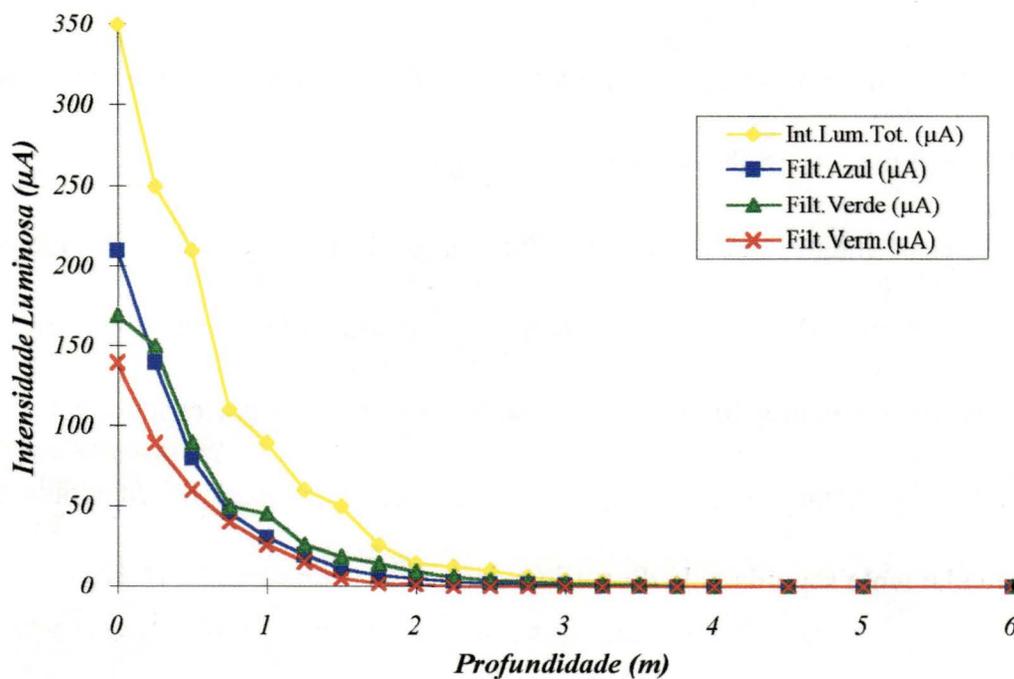


FIGURA 29 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão

No horário das 15:00h (Figura 28), a concentração de matéria orgânica foi praticamente constante por toda a coluna d'água; a concentração de clorofila de modo similar, apresentou um aumento em seu valor somente a 3,25 m de profundidade do reservatório, o mesmo ocorrendo para a matéria inorgânica para as profundidades: 1,75 m e 6,0 m.

A atenuação da luz subaquática, nesta hora do dia (Figura 29), ocorreu mais predominantemente na faixa do azul por toda a coluna d'água, seguida pela faixa do verde e posteriormente a do vermelho.

Com os dados aqui fornecidos, na represa do Lobo, Ponto A, durante o período total de observação, ou seja, das 09:00 às 16:00h, pôde-se constatar que em toda a coluna d'água os valores obtidos para concentração de matéria orgânica foi maior que de matéria inorgânica, ocorrendo um aumento no valor desta última, chegando próximo ao da matéria orgânica somente às 12:00h (0,0 m) e às 15:00h (6,0 m).

A intensidade luminosa, durante o decorrer do dia, foi maior às 12:00h, porém não ocorreu alteração na profundidade da zona eufótica. Na superfície a menor luz disponível para o sistema é a correspondente à faixa espectral do vermelho, contudo, a faixa espectral do azul foi atenuada mais acentuadamente seguida pela do verde e depois do vermelho.

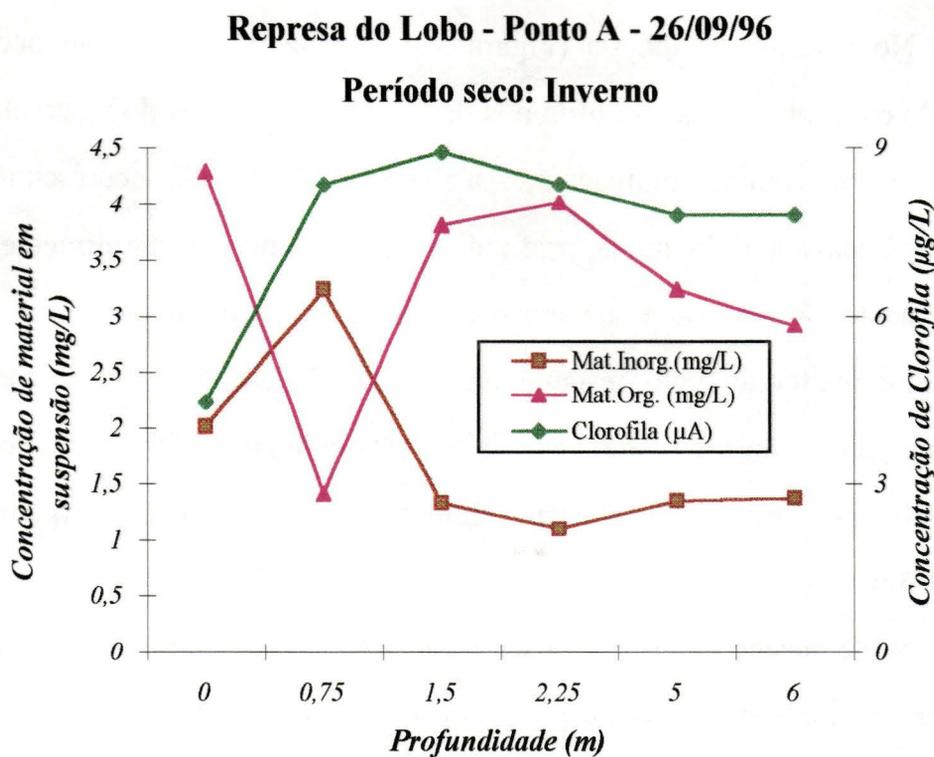


FIGURA 30 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno

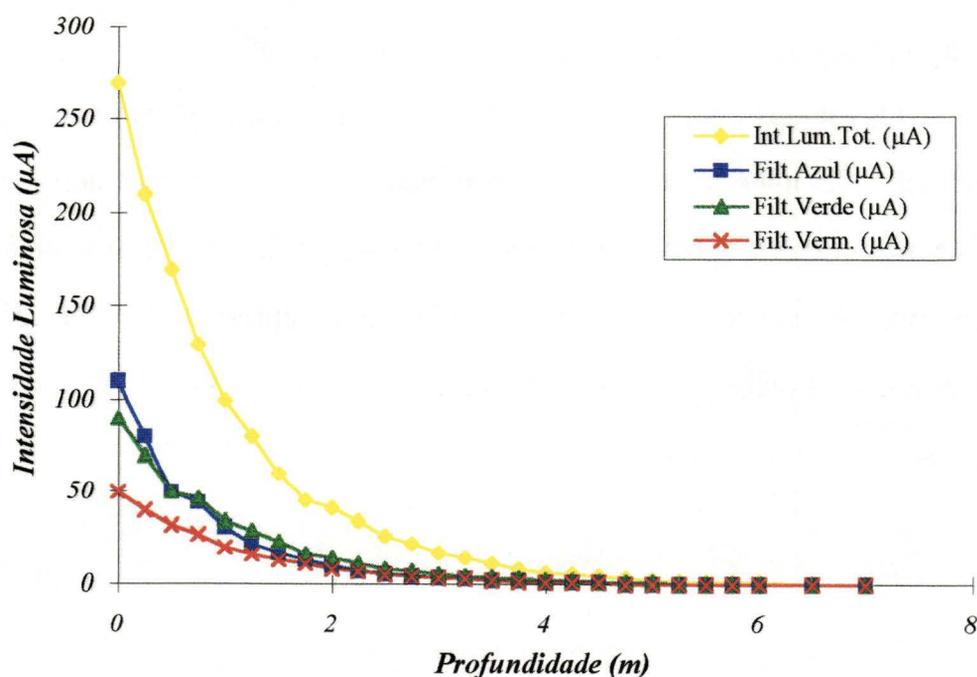


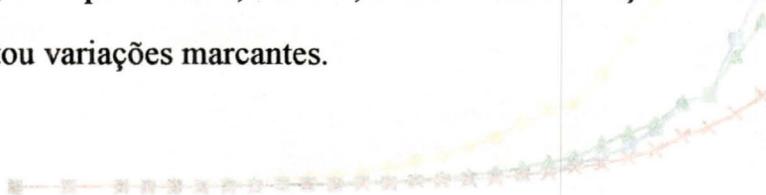
FIGURA 31 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno

No inverno, às 09:00h (Figura 30), do dia de observação ocorreu aumento da concentração de clorofila nos dois primeiros metros do reservatório, mantendo-se em seguida, praticamente inalterada. Houve um decréscimo da matéria orgânica até 0,75 m de profundidade, ocorrendo posteriormente um ligeiro aumento de seu valor até aproximadamente 1,5 m, mantendo-se este relativamente inalterado pelo restante da coluna d'água. A concentração de matéria inorgânica teve um aumento até a profundidade 0,75 m, vindo em seguida reduzir-se, mantendo o mesmo comportamento da matéria orgânica a partir de 1,5 m.

Neste mesmo horário de observação, a luz ao penetrar a coluna d'água apresentou nos primeiros 2 m de profundidade, atenuação mais acentuada na faixa espectral do azul, e ligeira diferença na do verde, seguida pela faixa espectral do vermelho, que apresentou na superfície menor intensidade luminosa disponível para o sistema.

A profundidade da zona eufótica no inverno aumentou com relação à obtida no verão, tendo o valor de aproximadamente 5,0 m.

Os dados obtidos às 12:00h (Figura 32), mostraram que a concentração de matéria inorgânica teve valor reduzido comparado com as demais concentrações, apresentando um pico ao atingir 2,0 m de profundidade do reservatório. A concentração de clorofila total apresentou características semelhantes, com picos em 2,0 m e 5,25 m. A concentração de matéria orgânica não apresentou variações marcantes.



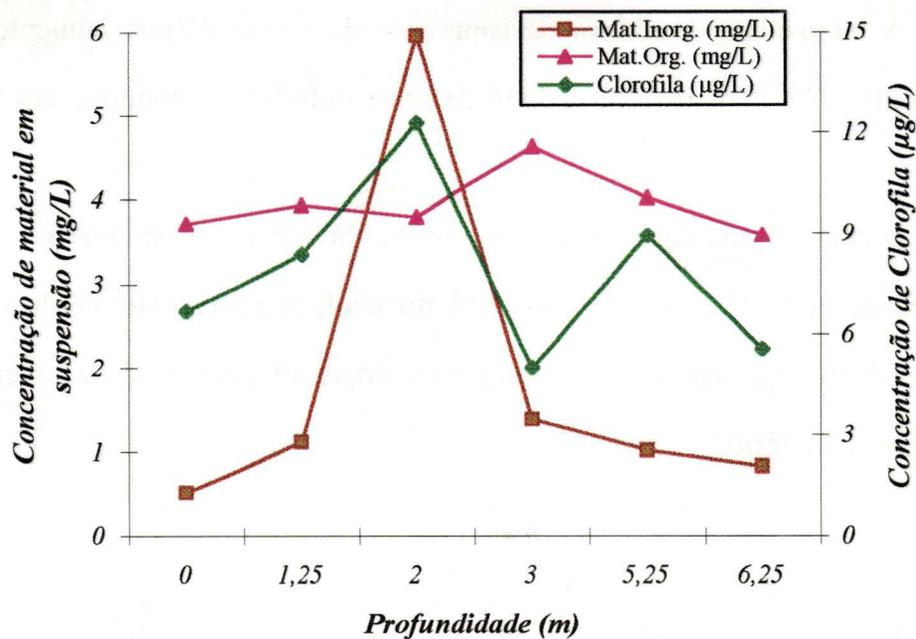


FIGURA 32 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno

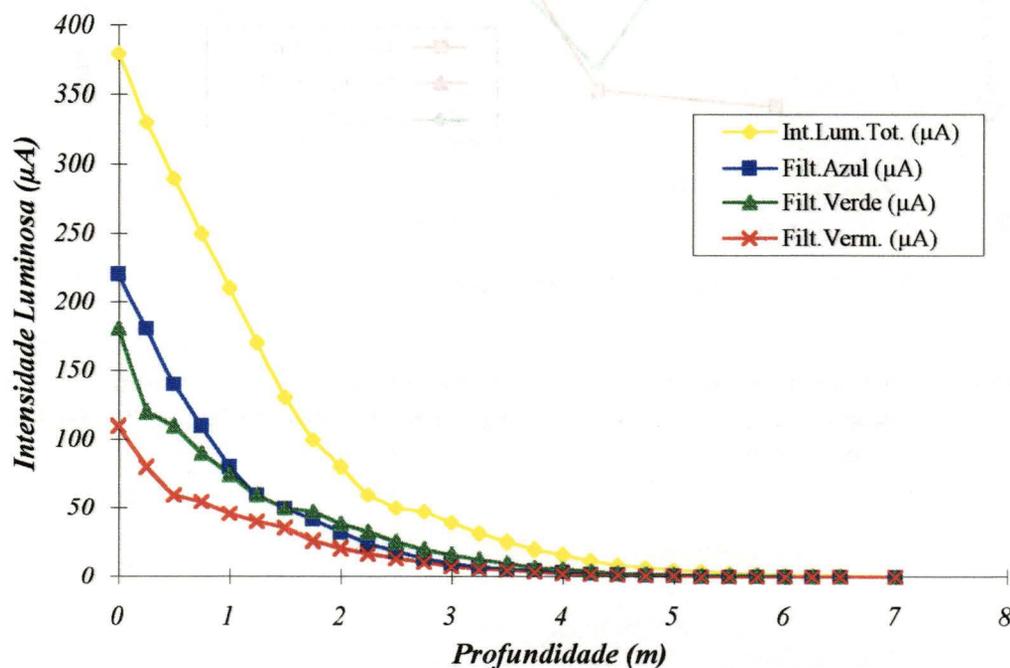


FIGURA 33 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno

A intensidade luminosa na superfície do corpo d'água aumentou às 12:00h (Figura 33), mas a profundidade da zona eufótica se manteve em torno de 5,0 m.

Nos primeiros dois metros de profundidade a maior atenuação da luz subaquática ocorreu na faixa do espectral do azul, seguida pelo verde e por último o vermelho, que apresentou menor intensidade disponível já na superfície como no horário anterior.

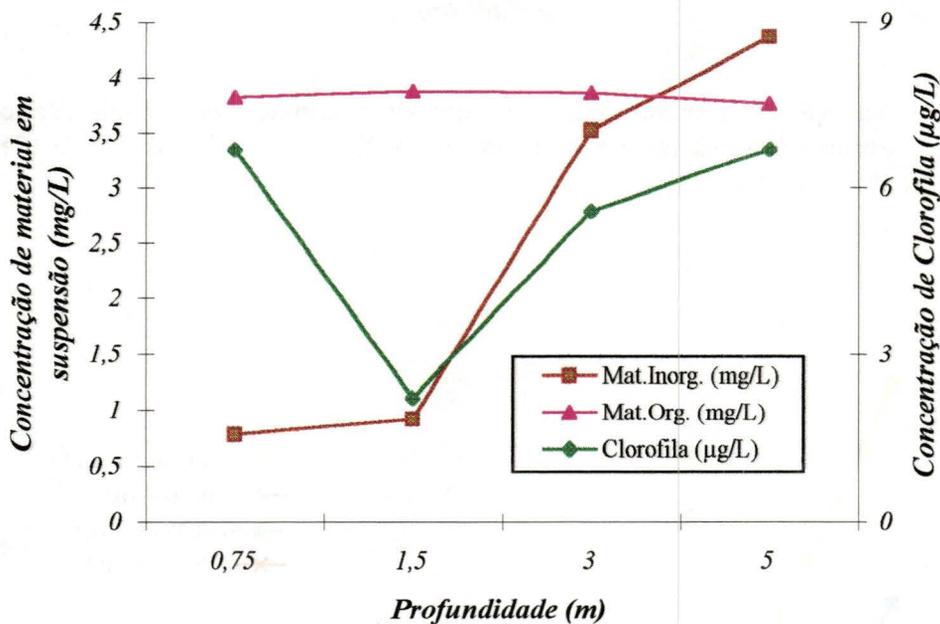


FIGURA 34 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno

A concentração de matéria orgânica permaneceu quase que inalterada por toda a coluna d'água, às 15:00h (Figura 34), ocorrendo diminuição da

concentração de clorofila total ao atingir a profundidade de 1,5 m, aumentando de valor à medida em que aumentou a profundidade. A concentração de matéria inorgânica foi reduzida no primeiro metro, elevando-se o valor em seguida.

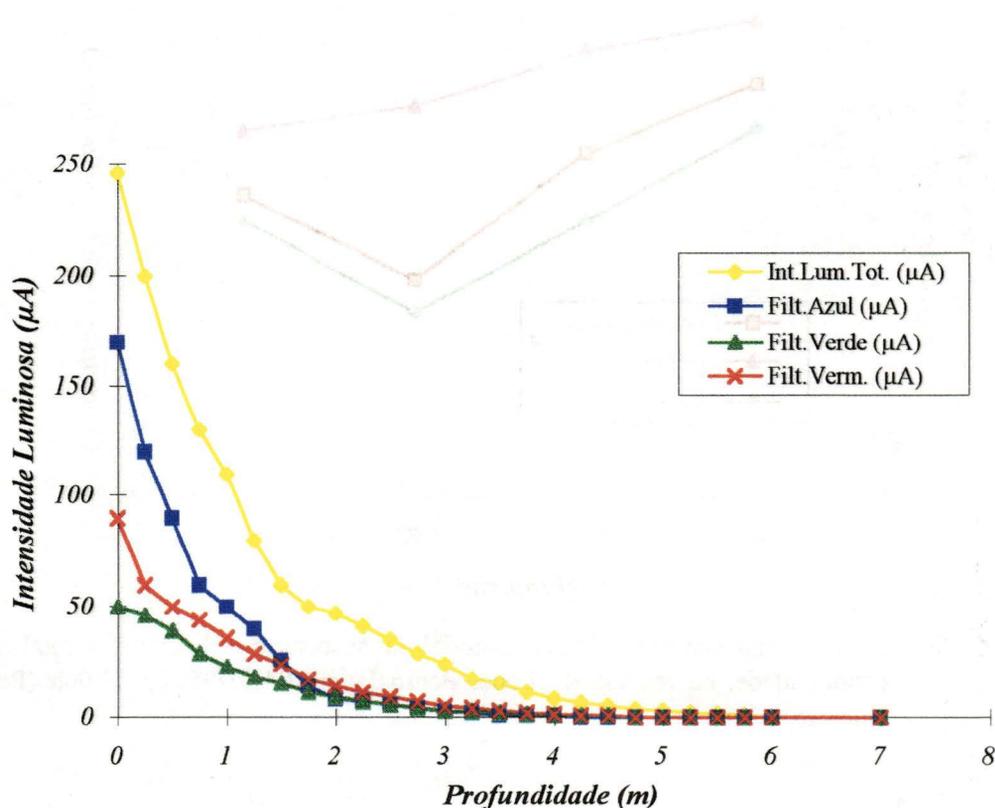


FIGURA 35 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno

Para os dois primeiros metros de profundidade deste reservatório, às 15:00h (Figura 35), a atenuação da luz subaquática mais acentuada ocorreu na faixa espectral do azul e depois na do vermelho, seguida pela faixa espectral do verde, que apresentou a partir da superfície do reservatório a menor intensidade luminosa disponível para o sistema.

Represa do Lobo - Ponto B - 04/03/96

Período chuvoso: Verão

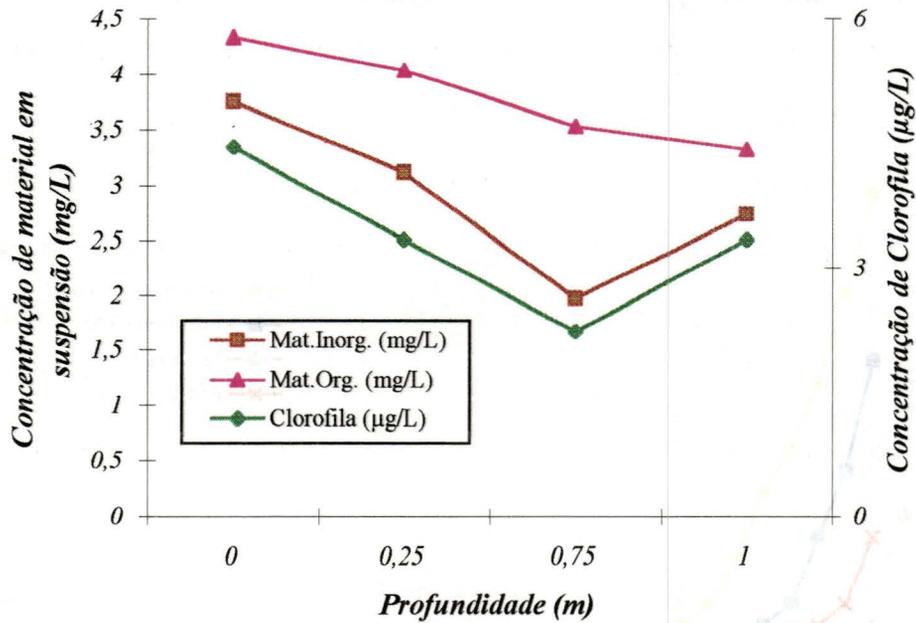


FIGURA 36 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão

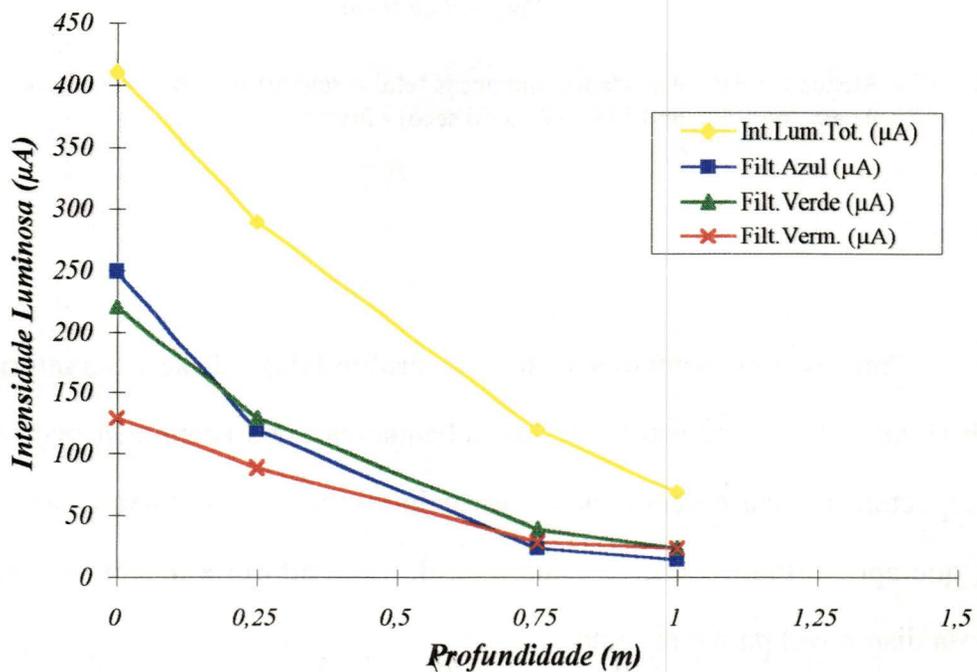


FIGURA 37 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão

Para o caso desta estação de estudo, represa do Lobo, Ponto B, cuja profundidade atinge somente cerca de 1,5 m (Figura 36), as concentrações de material em suspensão e de clorofila total diminuíram gradativamente à medida que aumentou a profundidade do reservatório neste ponto de estudo, havendo uma elevação das concentrações de matéria inorgânica e de clorofila total após 0,75 m de profundidade, para o horário das 09:00h.

A Figura 37, mostra a atenuação da luz solar subaquática para esta estação de estudo, na qual praticamente toda a coluna d'água recebe iluminação, com atenuação menos pronunciada na faixa espectral do vermelho até 0,75 m de profundidade aproximadamente, e, na faixa do azul ocorreu maior atenuação.

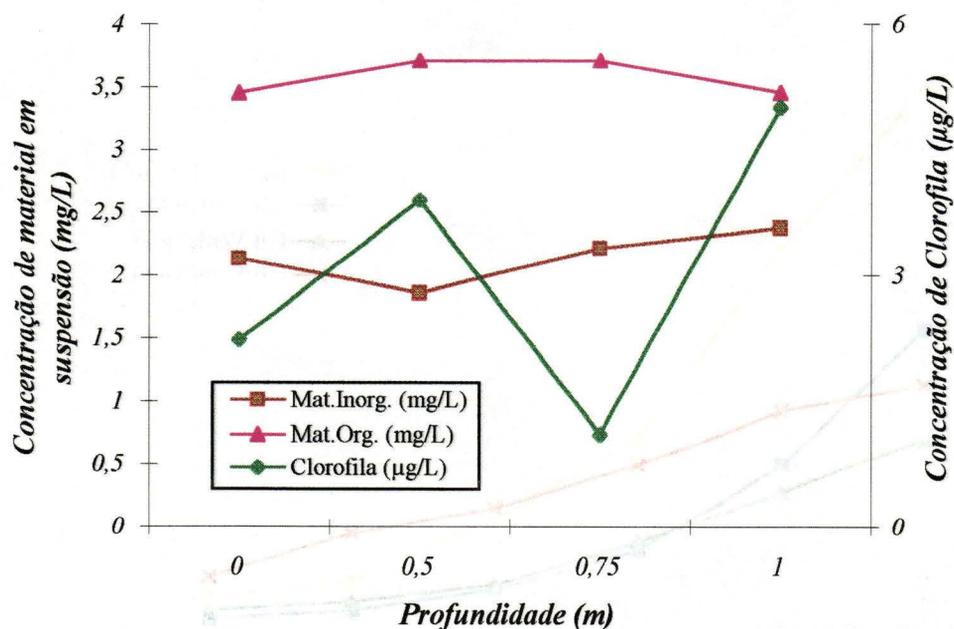


FIGURA 38 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão

No horário das 12:00h (Figura 38), as concentrações de material em suspensão mantiveram-se praticamente inalteradas por toda a profundidade do reservatório, enquanto que a concentração de clorofila total sofreu variações diversas, com um aumento a 0,5 m e a 1,0 m de profundidade e diminuição a 0,75 m.

Neste horário de observação (Figura 39), o céu estava encoberto, com chuva leve no local, o que possivelmente possa ter contribuído para diminuição da intensidade luminosa que atingiu a superfície do reservatório, com relação ao horário anterior observado. A profundidade zona eufótica permaneceu compreendendo toda a coluna d'água, com atenuação mais marcante da luz subaquática na faixa do azul, seguida do verde e do vermelho com atenuações ligeiramente próximas.

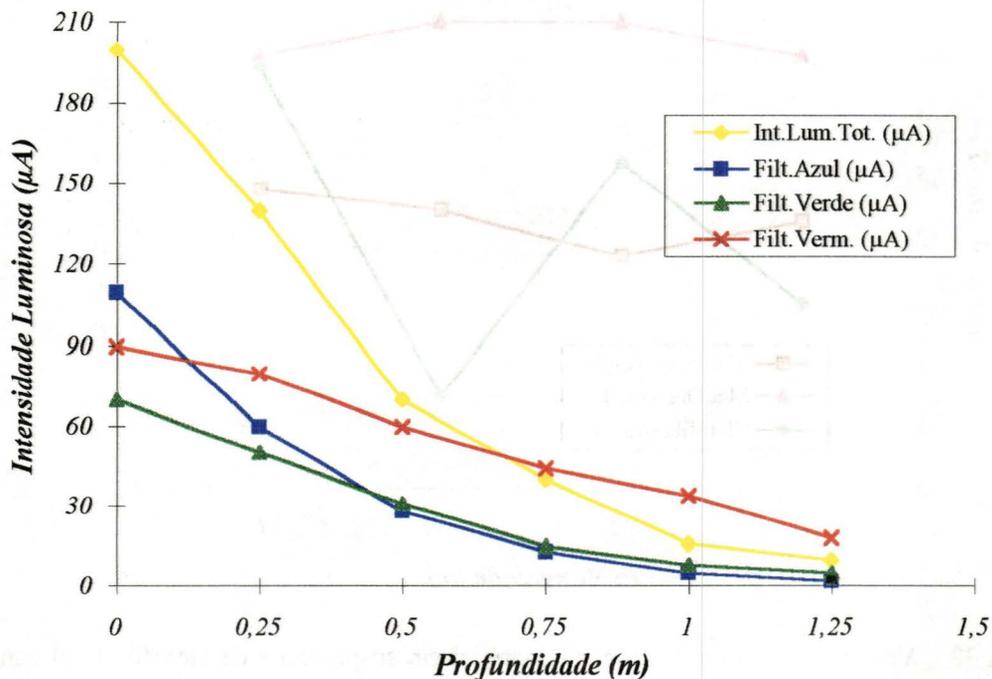


FIGURA 39 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão

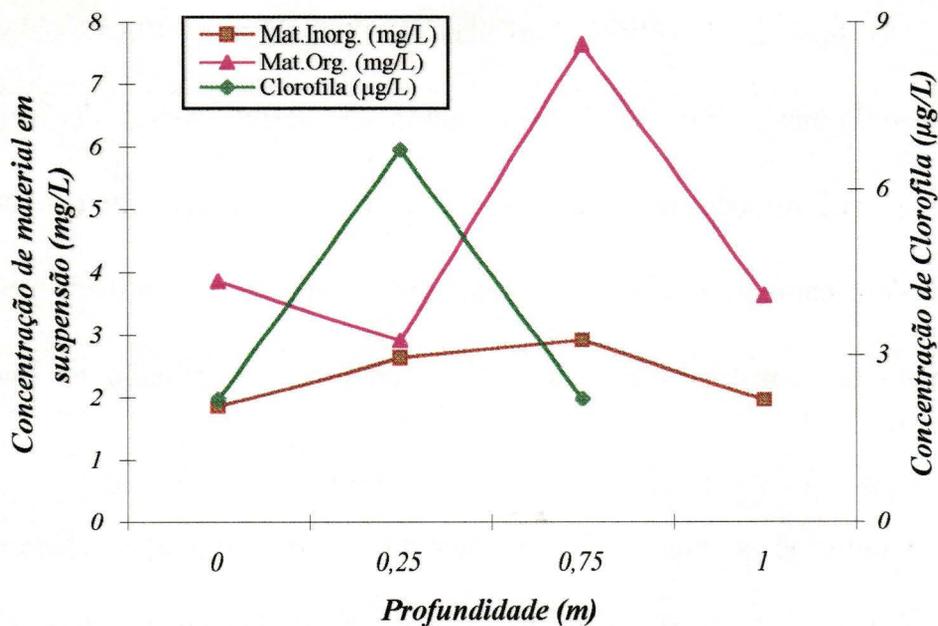


FIGURA 40 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão

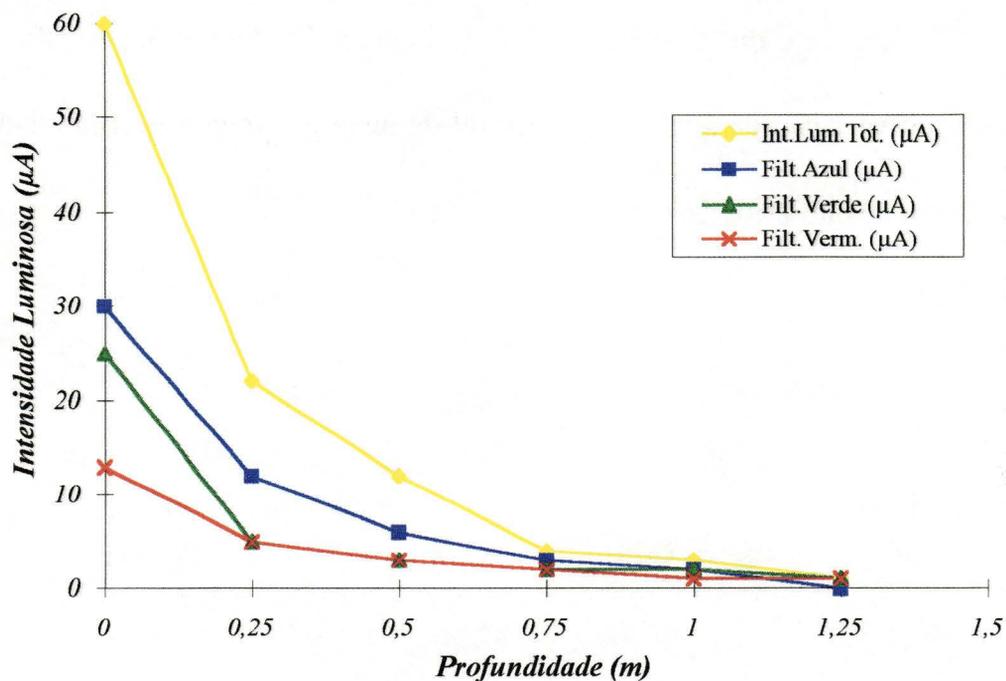


FIGURA 41 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão

No horário de observação das 15:00h, Figura 40, o valor da concentração da matéria inorgânica foi reduzido sem variações consideráveis, ao passo que as concentrações de matéria orgânica e de clorofila total, aumentaram e diminuíram bruscamente através da profundidade, como ocorreu a 0,25 m para a concentração de clorofila total e a 0,75 m para a concentração de matéria orgânica.

Conforme a Figura 41, a intensidade luminosa que chegou no reservatório diminuiu consideravelmente, mantendo praticamente toda a coluna d'água iluminada. A atenuação mais acentuada ocorreu na faixa do verde até 0,25 m, havendo a partir de então, atenuação muito similar nas faixas do vermelho e do verde e mais intensamente na faixa espectral do azul.

Durante o dia de observação, nesta época do ano (verão), verificou-se que ocorreu variação da qualidade espectral da água por toda a profundidade do reservatório nos horários de estudo.



Represa do Lobo - Ponto B - 30/09/96

Período seco: Inverno

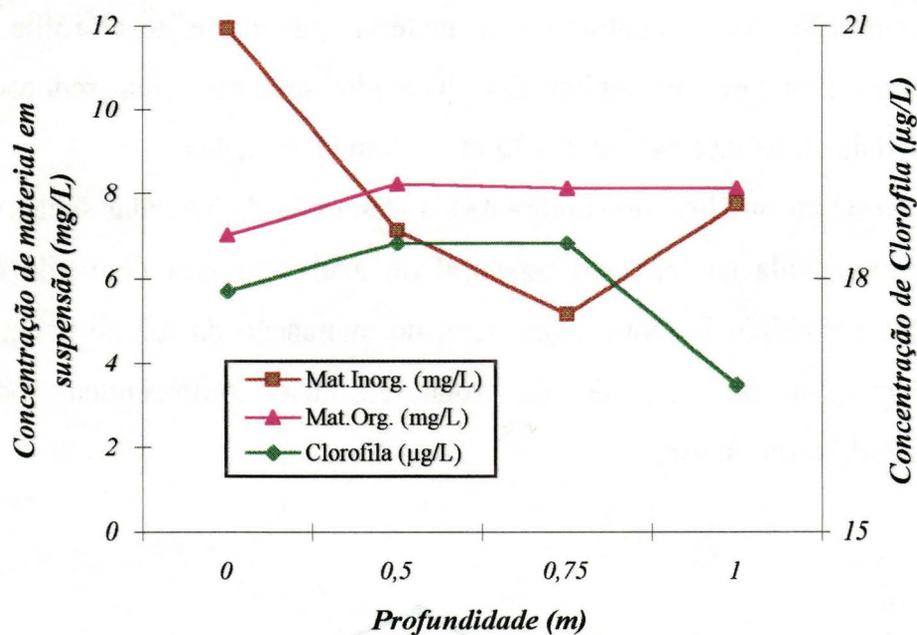


FIGURA 42 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno

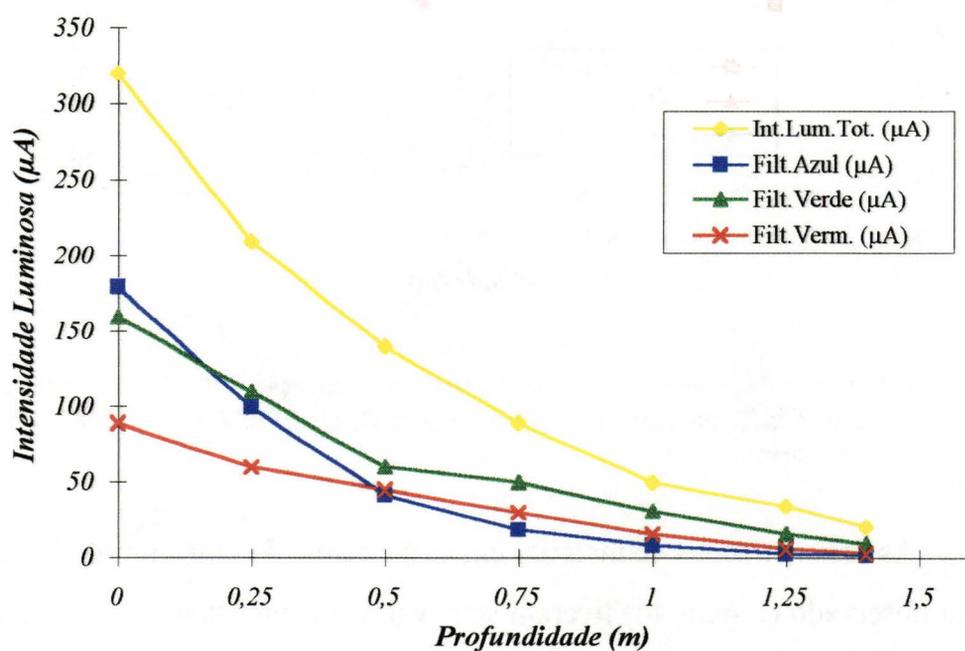


FIGURA 43 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno

Às 09:00h do dia 30/09/96 (período seco: inverno), a concentração de matéria inorgânica diminuiu até a profundidade de 0,75 m, seguida de aumento desta concentração. As concentrações de matéria orgânica e de clorofila total permaneceram praticamente inalteradas, havendo somente uma redução da concentração de clorofila total entre 0,75 m e 1,0 m (Figura 42).

Neste mesmo horário (Figura 43), a atenuação da luz solar subaquática foi mais pronunciada na faixa do espectral do azul, depois a do verde e em seguida a do vermelho. Embora tenha ocorrido atenuação da luz ao penetrar a coluna d'água, a profundidade da zona eufótica compreendeu toda a profundidade do reservatório.

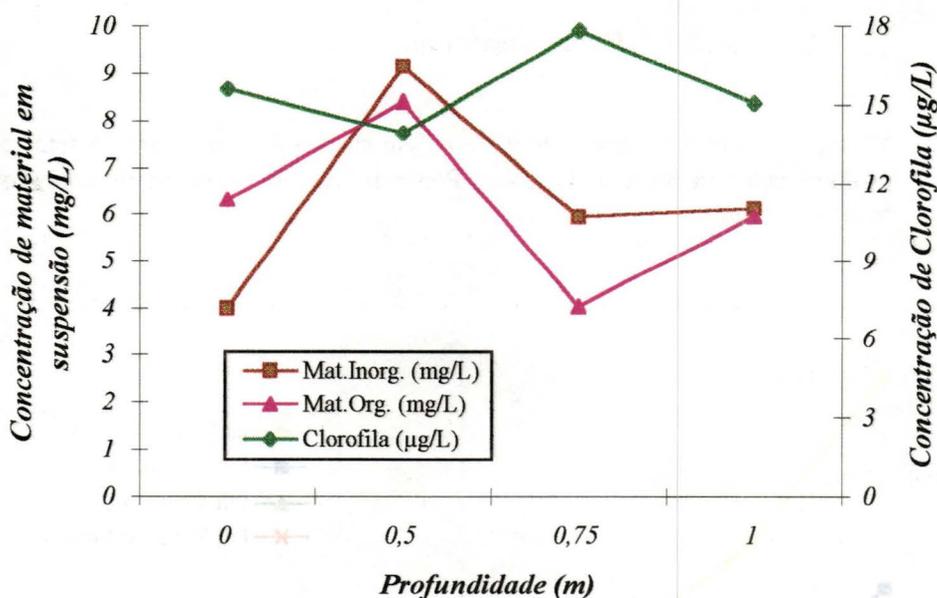


FIGURA 44 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno

As concentrações de material em suspensão e de clorofila total durante o horário observado (Figura 44) tiveram seus valores aumentados acentuadamente e em seguida diminuídos da mesma forma, cuja ocorrência se deu a 0,5 m para as concentrações de matérias orgânica e inorgânica e a 0,75 m para a clorofila total.

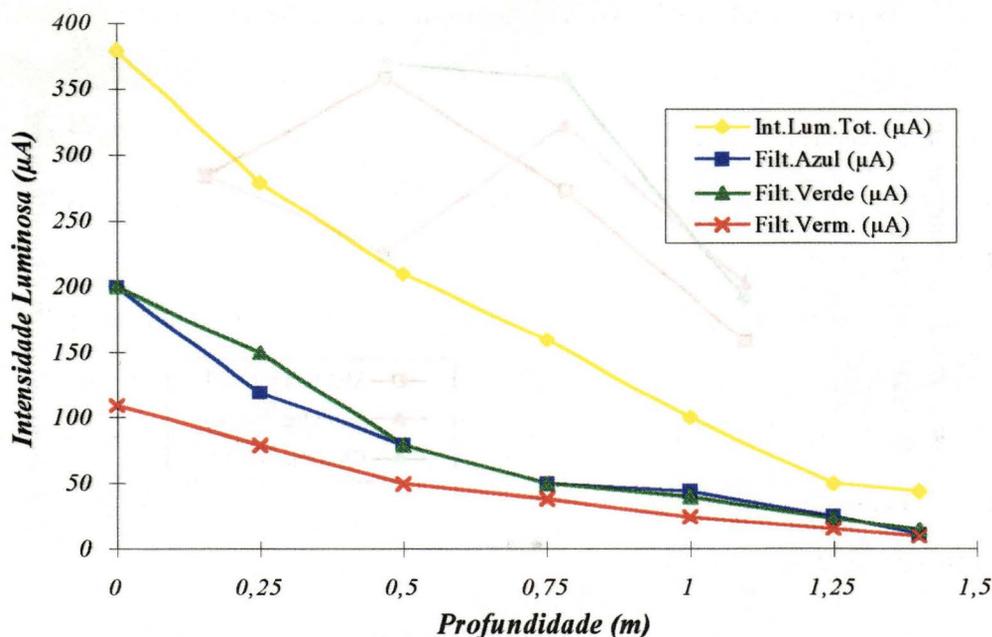


FIGURA 45 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno

Às 12:00h, a profundidade da zona eufótica permaneceu inalterada com relação ao horário anterior de observação, e a atenuação da luz solar subaquática ocorreu de modo mais pronunciado na faixa espectral do azul (Figura 45) até aproximadamente 0,5 m de profundidade, a partir da qual a atenuação ocorrida nas faixas do azul e do verde foram muito semelhantes, e menos intensamente para o vermelho.

Este comportamento da atenuação da luz solar subaquática se manteve no horário das 15:00h (Figura 47), onde a faixa espectral do azul foi mais atenuada nos primeiros 0,25 m da coluna d'água.

Ocorreu um aumento nas concentrações de material em suspensão e clorofila total até 0,5 m de profundidade do reservatório às 15:00h (Figura 46). A partir deste ponto, a concentração de clorofila total permaneceu aproximadamente constante, enquanto que as concentrações de matéria orgânica e inorgânica apresentaram variações opostas, isto é, enquanto uma diminui a outra aumenta de forma alternada para as profundidades 0,75 m e 1,0 m respectivamente.

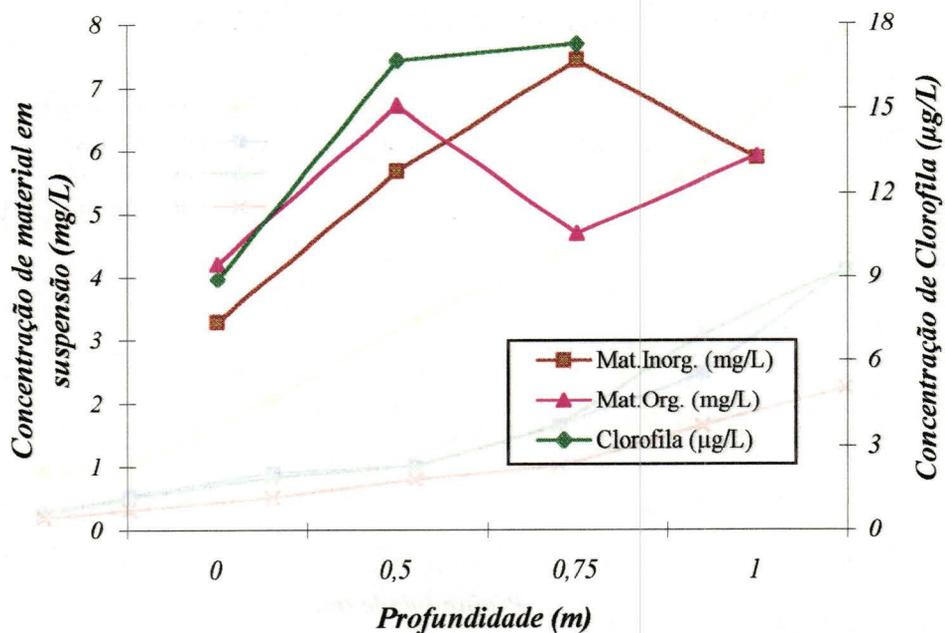


FIGURA 46 - Variação das concentrações de material em suspensão e de clorofila total com a profundidade, na represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno

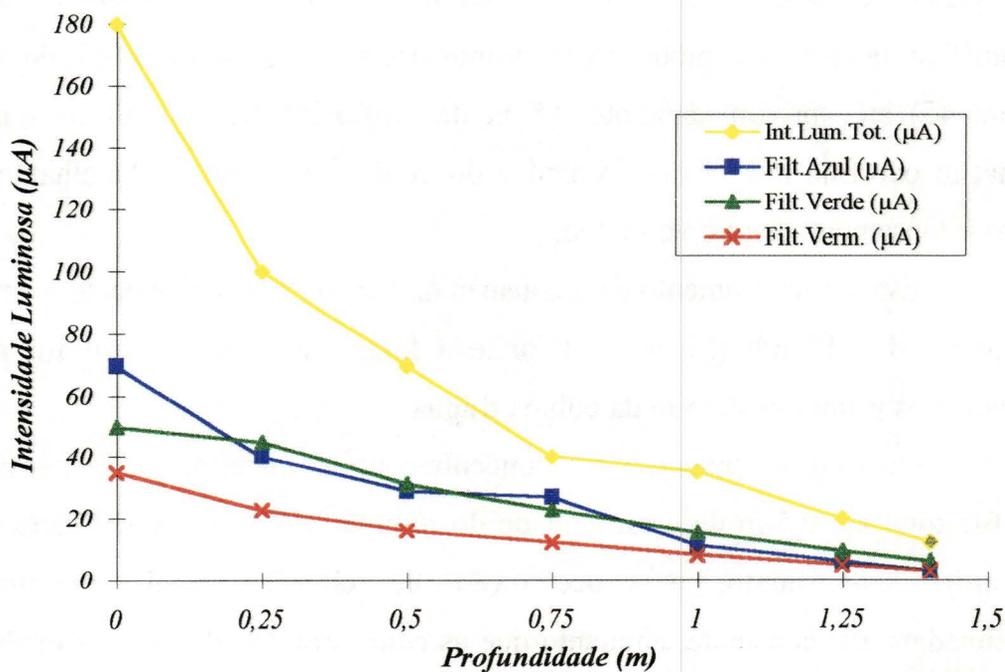


FIGURA 47 - Atenuação das intensidades luminosas total e seletiva na represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno

5.5 Perfis da Radiação Fotossinteticamente Ativa - R.F.A.

O fluxo da radiação solar incidente sobre a superfície de um ecossistema aquático, está sujeito a processos de absorção e de espalhamento; em decorrência disto, a irradiância do campo de luz diminui exponencialmente com a profundidade desse ecossistema.

Foram elaborados gráficos relacionando o logaritmo da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) com a profundidade dos reservatórios em estudo, conforme as Figuras 48 a 65, que indicam também o percentual de penetração da mesma.

Represa de Barra Bonita em 23/02/96

Período chuvoso: Verão

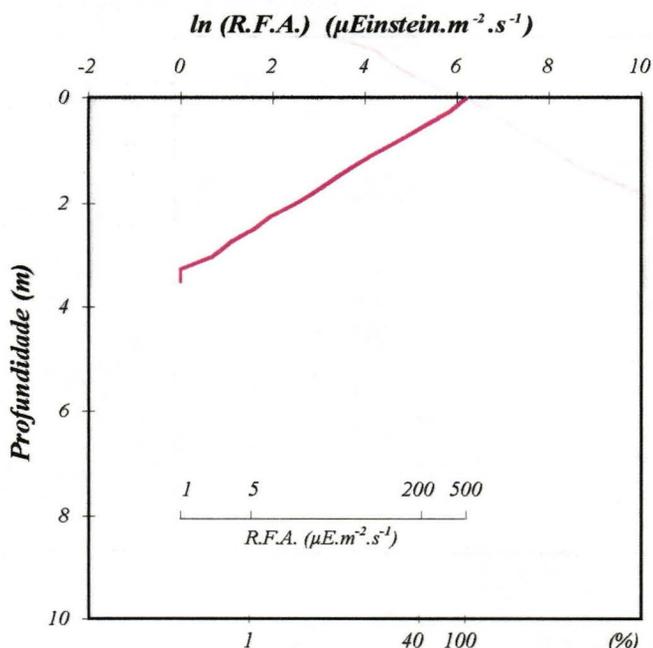


FIGURA 48 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa de Barra Bonita em 23/02/96 às 09:00h (Período chuvoso) - Verão

As Figuras 48 e 49, respectivamente para os horários das 09:00h e 12:00h de observação, mostram que as curvas obtidas foram aproximadamente lineares, enquanto que no horário das 15:00h, ocorreu alteração na inclinação da curva apresentada à medida em que aumentou a profundidade do reservatório, conforme Figura 50.

Embora o campo de luz diminua com a profundidade do reservatório, os dados mostraram que a R.F.A. atingiu profundidades maiores que a profundidade compreendida pela zona eufótica, marcadamente nos horários das 09:00h e das 15:00h. Às 12:00h, a profundidade da zona eufótica apresentou valor muito próximo àquele correspondente à profundidade atingida pela R.F.A., possivelmente devido à inclinação do sol, neste horário, possibilitando maior penetração de luz (Figuras 15 e 49).

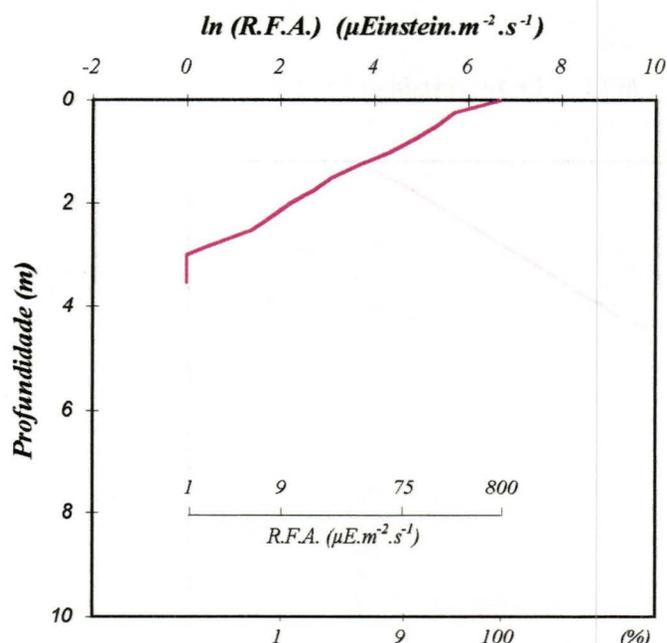


FIGURA 49 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa de Barra Bonita em 23/02/96 às 12:00h (Período chuvoso) - Verão

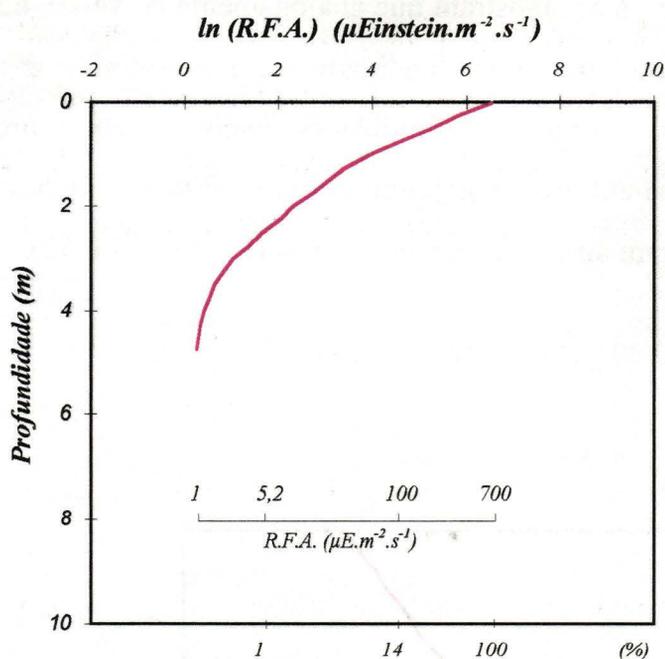


FIGURA 50 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa de Barra Bonita em 23/02/96 às 15:00h (Período chuvoso) - Verão

Represa de Barra Bonita em 01/08/96

Período seco: Inverno

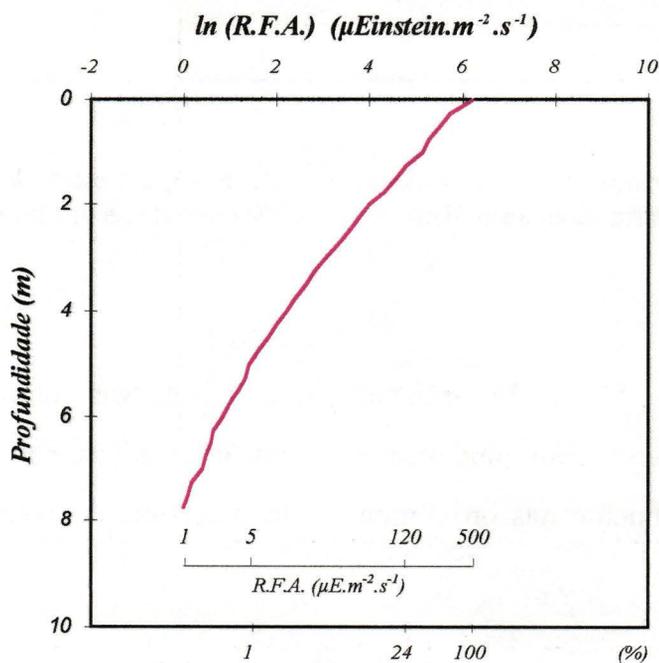


FIGURA 51 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa de Barra Bonita em 01/08/96 às 09:00h (Período seco) - Inverno

As Figuras 51 a 53, mostram que analogamente ao verão, no inverno o campo de luz diminuiu com a profundidade do reservatório, e a radiação fotossinteticamente ativa atingiu profundidades maiores que a profundidade compreendida pela zona eufótica nos horários das 09:00h e 15:00h, e às 12:00h estas profundidades foram aproximadamente iguais (Figuras 21 e 52).

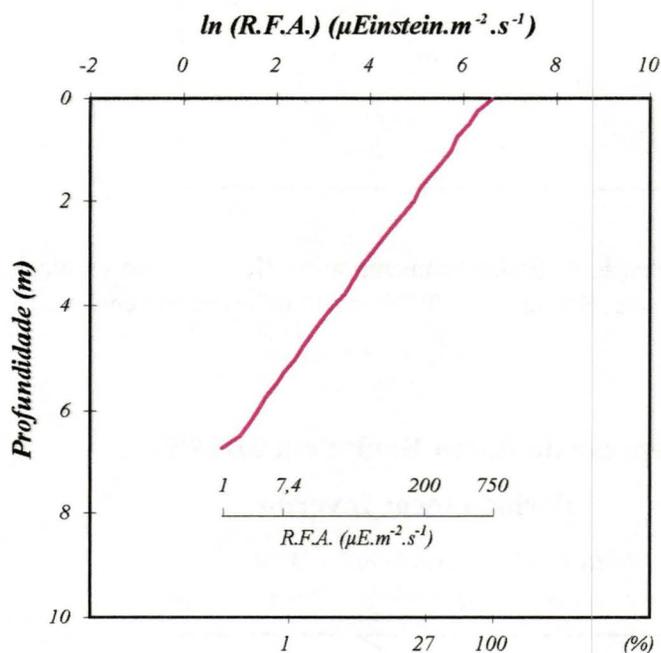


FIGURA 52 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa de Barra Bonita em 01/08/96 às 12:00h (Período seco) - Inverno

As Figuras 51 a 53 mostram que as curvas obtidas foram aproximadamente lineares com mudança em suas inclinações na região da zona afótica e possivelmente nas proximidades da superfície do reservatório às 09:00h e 15:00h.

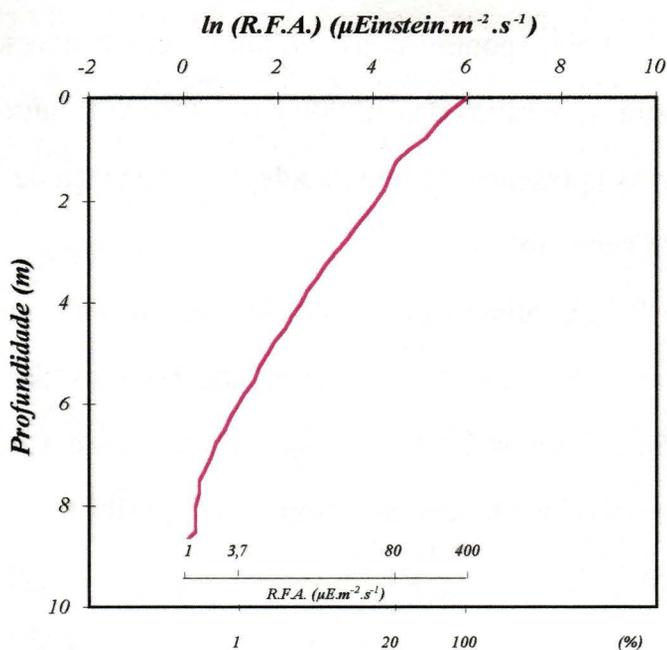


FIGURA 53 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa de Barra Bonita em 01/08/96 às 15:00h (Período seco) - Inverno

Represa do Lobo - Ponto A - em 05/03/96

Período chuvoso: Verão

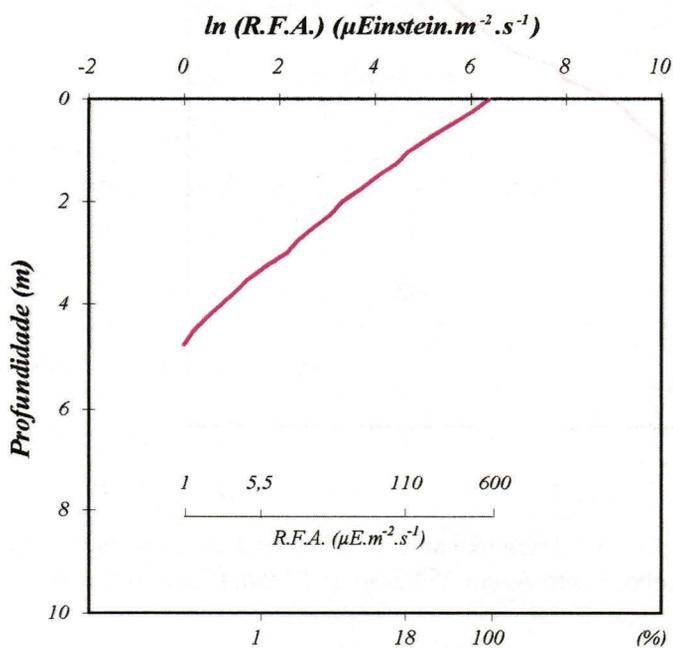


FIGURA 54 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96 às 09:00h (Período chuvoso) - Verão

Na represa do Lobo, ponto A, às 09:00h, a curva apresentada foi praticamente linear, e para os horários das 12:00h e das 15:00h (Figuras 55 e 56, respectivamente) as curvas apresentaram linearidade com mudança de inclinação das mesmas na região da zona afótica.

No verão, a R.F.A. atingiu profundidades ligeiramente maiores que a profundidade compreendida pela zona eufótica, nos horários das 09:00h e 15:00h (Figuras 25 e 54 e Figuras 29 e 56, respectivamente), e valores muito próximos às 12:00h, possivelmente em decorrência da posição do sol, neste horário (Figuras 27 e 55).

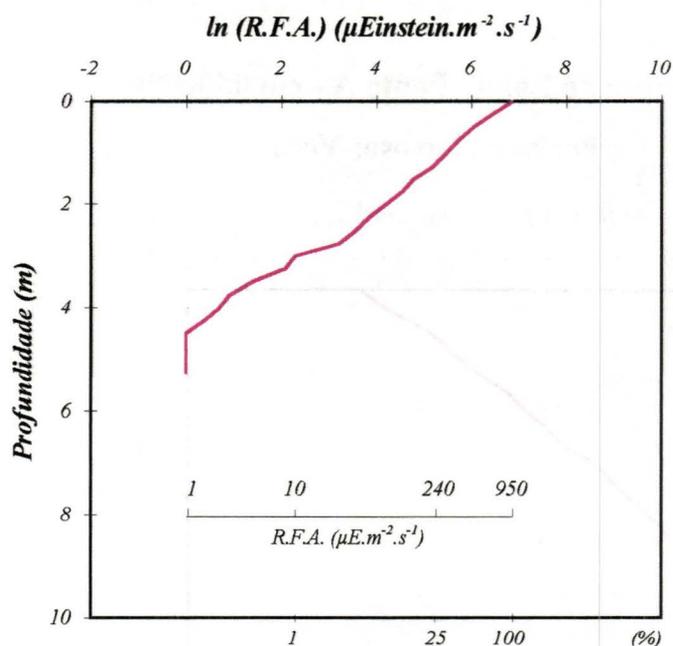


FIGURA 55 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96 às 12:00h (Período chuvoso) - Verão

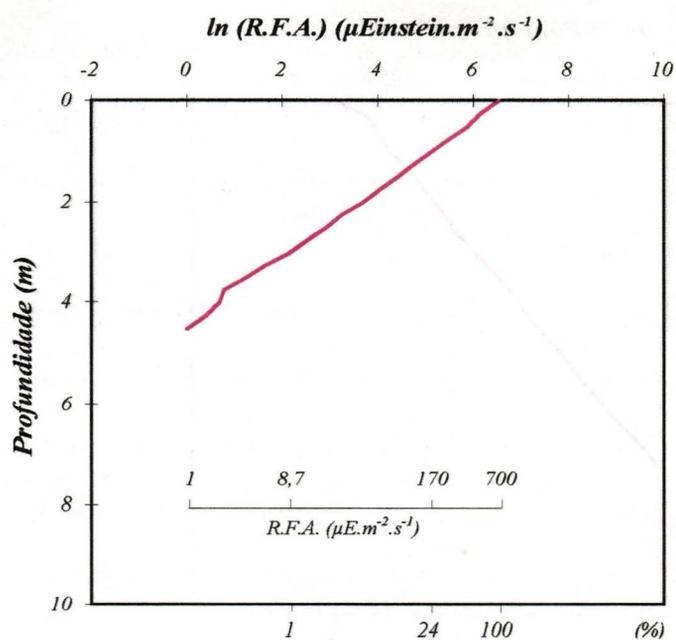


FIGURA 56 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96 às 15:00h (Período chuvoso) - Verão

Represa do Lobo - Ponto A - em 26/09/96

Período seco: Inverno

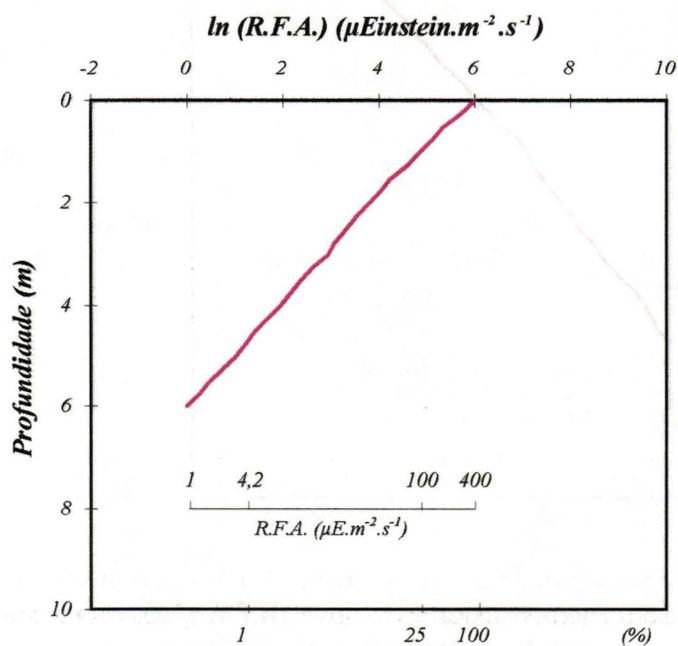


FIGURA 57 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96 às 09:00h (Período seco) - Inverno

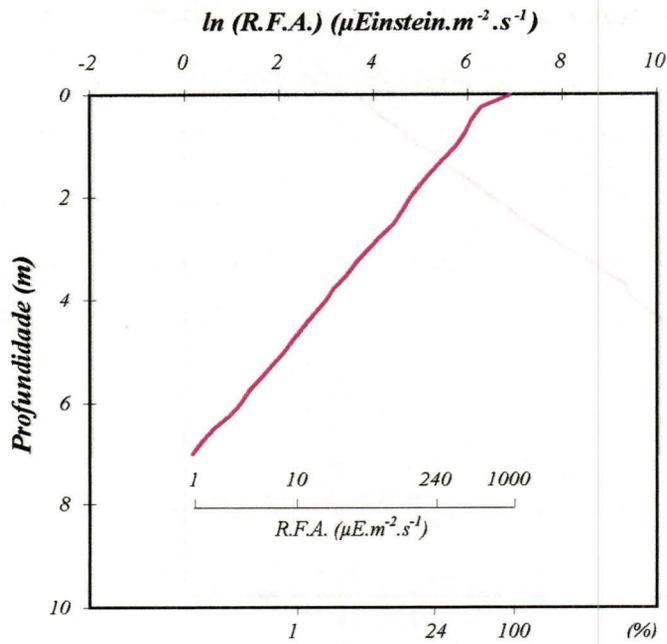


FIGURA 58 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96 às 12:00h (Período seco) - Inverno

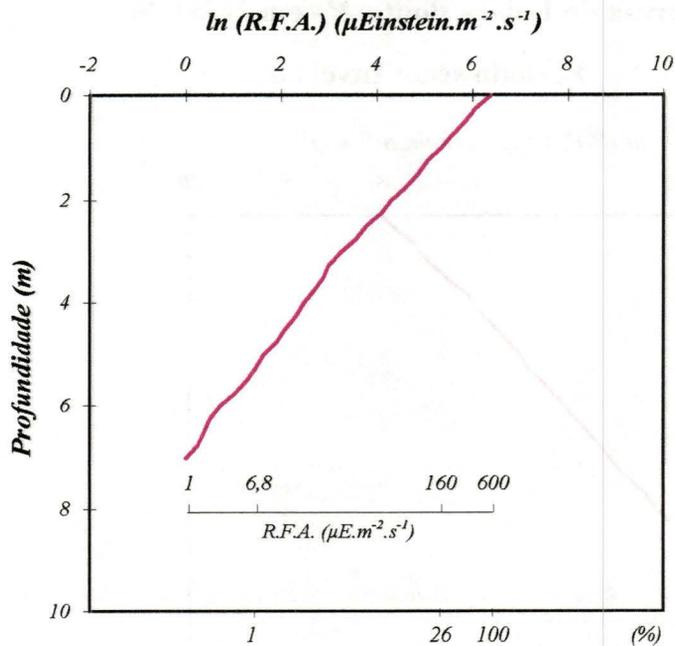


FIGURA 59 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96 às 15:00h (Período seco) - Inverno

Nos horários observados para o inverno, as Figuras 57 a 59, mostram que as curvas obtidas foram praticamente lineares, ocorrendo alteração na inclinação destas, muito próximo à superfície do reservatório às 12:00h.

No inverno, semelhantemente ao verão, a R.F.A. atingiu profundidades ligeiramente maiores que a profundidade compreendida pela zona eufótica, às 09:00h e às 15:00h, e para o horário das 12:00h, estes valores apresentaram-se muito próximos (Figuras 33 e 58).

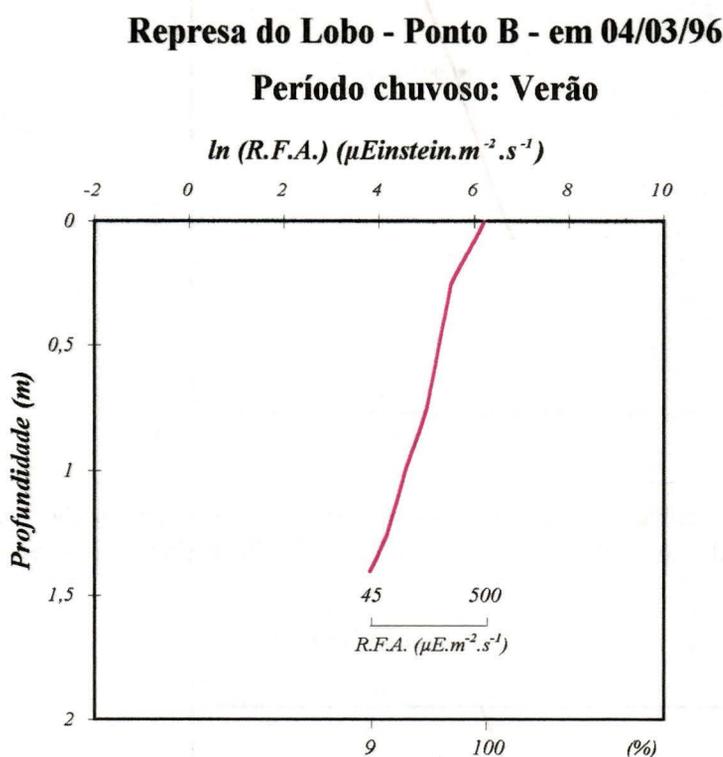


FIGURA 60 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96 às 09:00h (Período chuvoso) - Verão

A represa do Lobo, nesta estação de estudo, é um reservatório relativamente raso, com profundidade de aproximadamente 1,50 m. Às 09:00h, a curva obtida foi aproximadamente linear após a profundidade de 0,75m, com alterações na sua inclinação nas proximidades da superfície. Para os horários seguintes, (12:00h e 15:00h) a curvas apresentadas foram praticamente lineares por toda a profundidade desta estação de estudo, segundo as Figuras 61 e 62.

Em termos percentuais, a penetração de luz (% de intensidade luminosa) foi menor que R.F.A. (% de energia recebida por unidade de área de superfície, por tempo) na coluna d'água desta estação de estudo, possivelmente devido a presença de macrófitas nesta região, ou a entrada de material com as chuvas presentes no local; apresentando menor evidência às 09:00h.

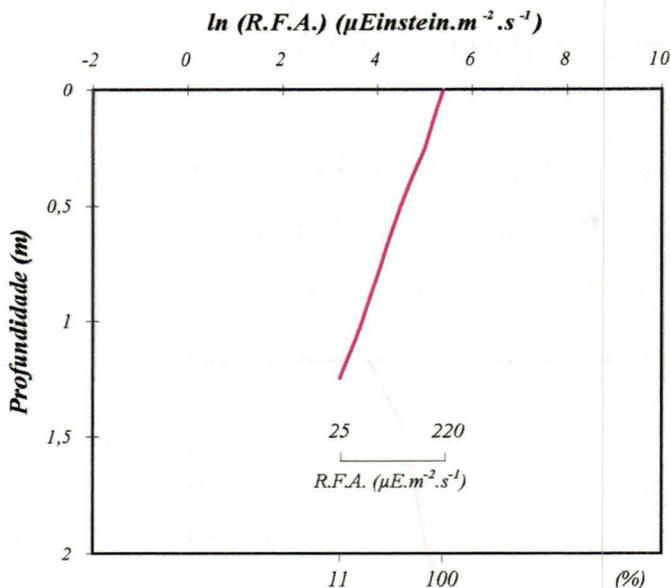


FIGURA 61 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96 às 12:00h (Período chuvoso) - Verão

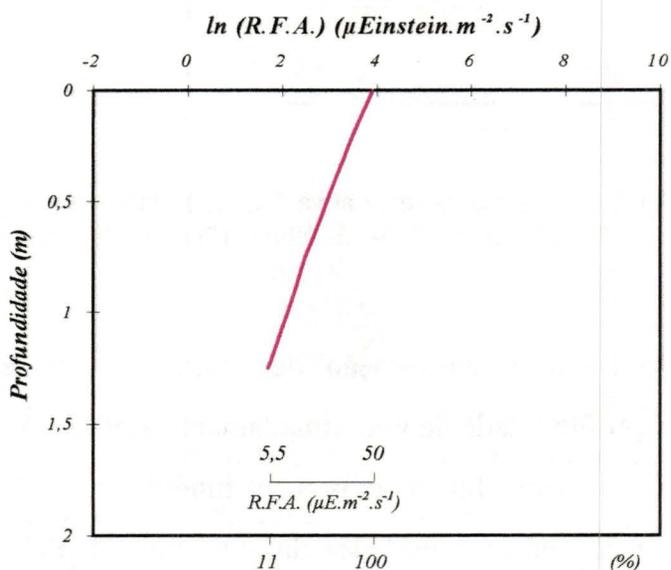


FIGURA 62 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96 às 15:00h (Período chuvoso) - Verão



Represa do Lobo - Ponto B - em 30/09/96

Período seco: Inverno

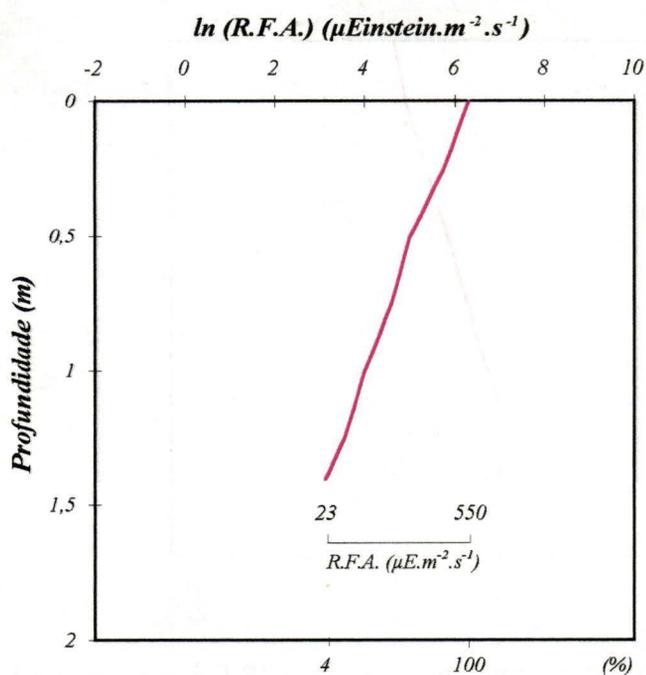


FIGURA 63 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96 às 09:00h (Período seco) - Inverno

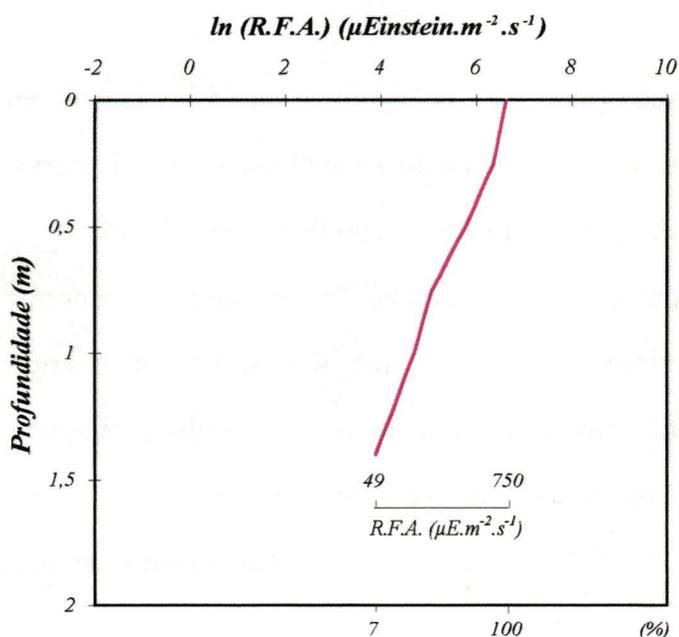


FIGURA 64 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96 às 12:00h (Período seco) - Inverno

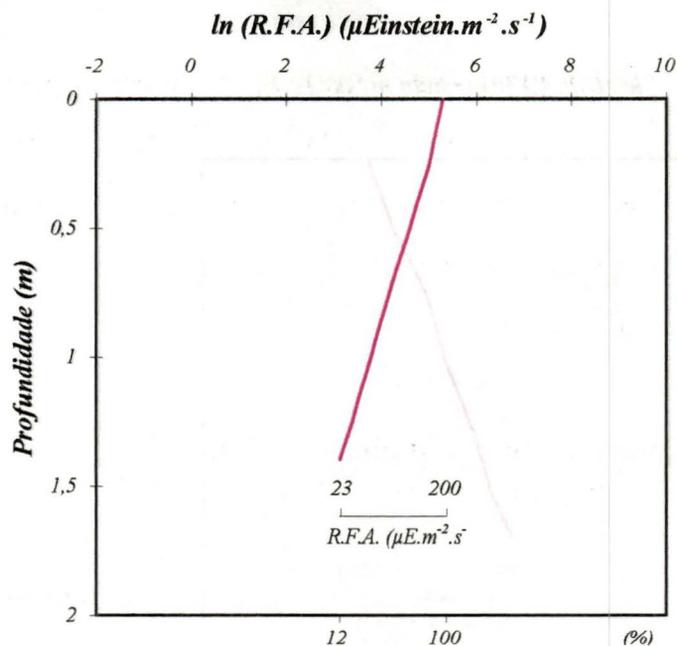


FIGURA 65 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), em escala logarítmica da represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96 às 15:00h (Período seco) - Inverno

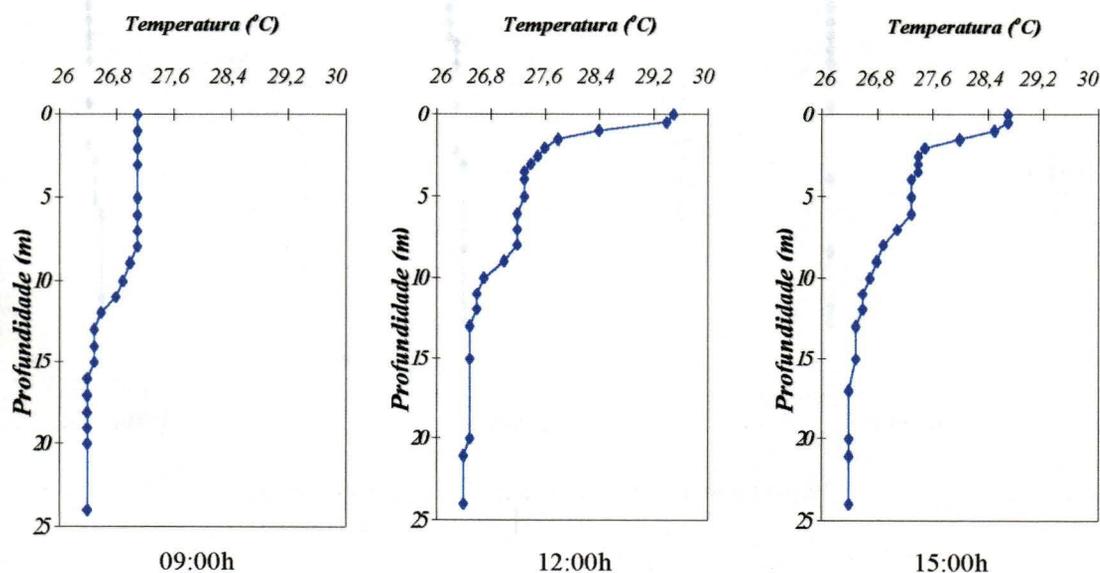
No período seco (inverno), as Figuras 63 a 65, as curvas apresentadas foram praticamente lineares, com alteração na inclinação de tais curvas próximo dos 0,75 m de profundidade nos horários das 09:00h e das 12:00h.

Em termos percentuais, nesta estação de estudo, a penetração de luz (% de intensidade luminosa) foi maior que R.F.A. (% de energia recebida por unidade de área de superfície, por tempo) na coluna d'água, nos dois primeiros horários de observação, como se verifica nas Figuras 43 e 63 (9:00h) e nas Figuras 45 e 64, (12:00h), e às 15:00h, estes valores se aproximaram ligeiramente.

5.6 Perfis Térmicos

Foram obtidos os perfis térmicos nas estações de estudo nos horários e períodos correspondentes aos da coleta de dados, mencionados anteriormente. Com estes, pôde-se obter informações sobre a ocorrência de estratificação térmica e turbulência nos corpos d'água em estudo, e sua possível influência no clima de radiação solar subaquática.

Represa de Barra Bonita em 23/02/96 Período chuvoso: Verão



$v = 0,69$ m/s (a 1,0 m da superfície do reservatório)

$v = 1,99$ m/s (a 10,0 m da superfície do reservatório)

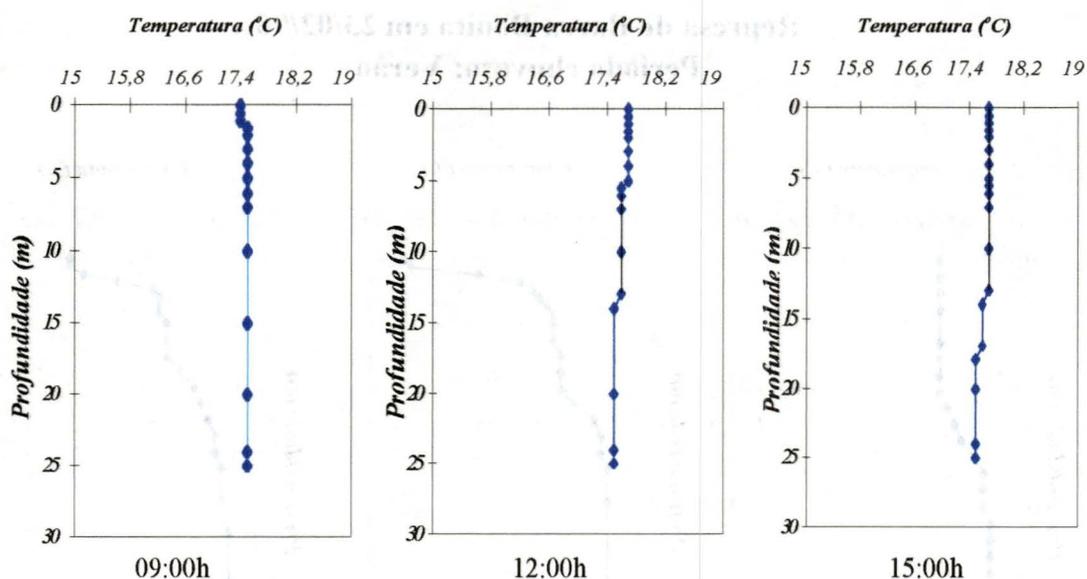
FIGURA 66 - Perfis Térmicos e velocidade média do vento a 1,0 m e a 10,0 m da superfície, na estação de estudo da represa de Barra Bonita em 23/02/96 (Período chuvoso) - Verão, entre 09:00h e 15:00h

No verão (período chuvoso), a Figura 66 mostra que durante o período observado, apresentaram-se pequenas ou micro-estratificações na coluna d'água, e zona de mistura compreendendo aproximadamente 8,0 m de profundidade.

A temperatura da água na superfície do reservatório apresentou valores entre aproximadamente 26°C e 29,5°C, e na sua profundidade máxima praticamente se manteve a 26,4°C.

Represa de Barra Bonita em 01/08/96

Período seco: Inverno



$v = 3,06$ m/s (a 1,0 m da superfície do reservatório)
 $v = 5,93$ m/s (a 10,0 m da superfície do reservatório)

FIGURA 67 - Perfis Térmicos e velocidade média do vento a 1,0m e a 10,0m da superfície, na estação de estudo da represa de Barra Bonita em 01/08/96 (Período seco) - Inverno, entre 09:00h e 15:00h

O período de inverno (seco), neste reservatório, é caracterizado pela ocorrência de ventos que pode ocasionar turbulência na água e circulação de praticamente toda a coluna d'água, não havendo variação apreciável de temperatura, conforme a Figura 67.

A temperatura da água se manteve em torno de 17,5°C em toda sua profundidade, com zona de mistura compreendendo praticamente toda a coluna d'água.

Represa do Lobo - Ponto A - em 05/03/96

Período chuvoso: Verão

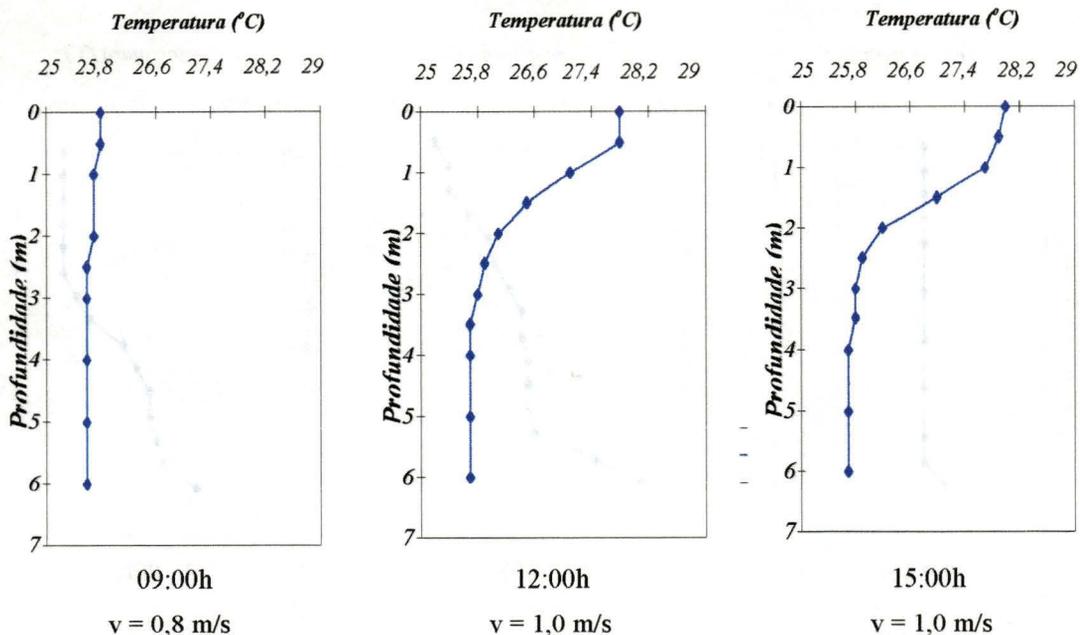


FIGURA 68 - Perfis Térmicos e velocidade do vento a 10,0 m da superfície, na estação de estudo da represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96 (Período das águas) - Verão, nos horários: 09:00h, 12:00h e 15:00h

No verão ocorreu estratificação da coluna d'água na zona eufótica nos horários das 12:00h e das 15:00h, observando-se a formação de termoclina. Às 09:00h praticamente não houve variação de temperatura na coluna d'água (Figura 68).

A profundidade da zona de mistura foi variável nos horários de observação, na qual às 09:00h esta foi correspondente a praticamente toda a coluna d'água, de 0,5 m às 12:00h e em torno do primeiro metro de profundidade às 15:00h.

A temperatura da água na superfície do reservatório apresentou valores em torno de 25,8°C e 28°C, e abaixo de praticamente 3,5 m de profundidade a temperatura foi aproximadamente 25,7°C.

Represa do Lobo - Ponto A - em 26/09/96

Período seco: Inverno

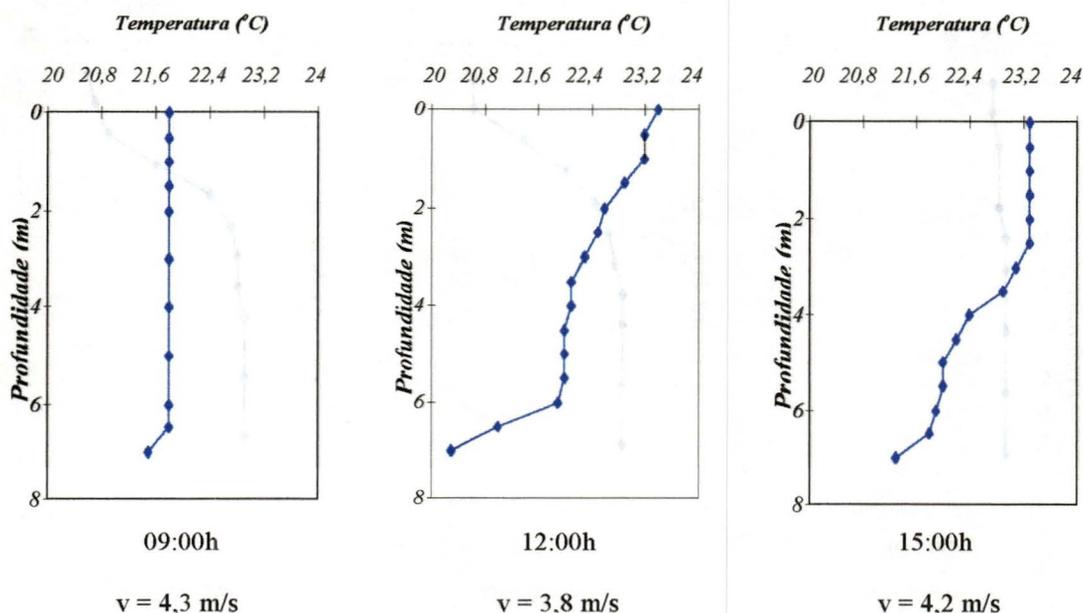


FIGURA 69 - Perfis Térmicos e velocidade do vento a 10,0 m da superfície, na estação de estudo da represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96 (Período seco) - Inverno, nos horários: 09:00h, 12:00h e 15:00h

A ocorrência de ventos no inverno (período seco), nesta represa, provocando turbulência e circulação por quase toda sua profundidade, possivelmente pode ter contribuído para a pequena variação de temperatura ocorrida na coluna d'água durante o período de estudo, com microestratificações na zona eufótica nos horários das 12:00h e 15:00h, apresentando 5,5 m aproximadamente de profundidade para a zona de mistura (Figura 69).

A temperatura da água na superfície do reservatório, durante os horários observados, variou entre aproximadamente 21,8°C e 23,4°C e, em torno de 5,5 m de profundidade sua temperatura esteve em torno de 21,8°C e 22°C.

Represa do Lobo - Ponto B - em 04/03/96

Período chuvoso: Verão

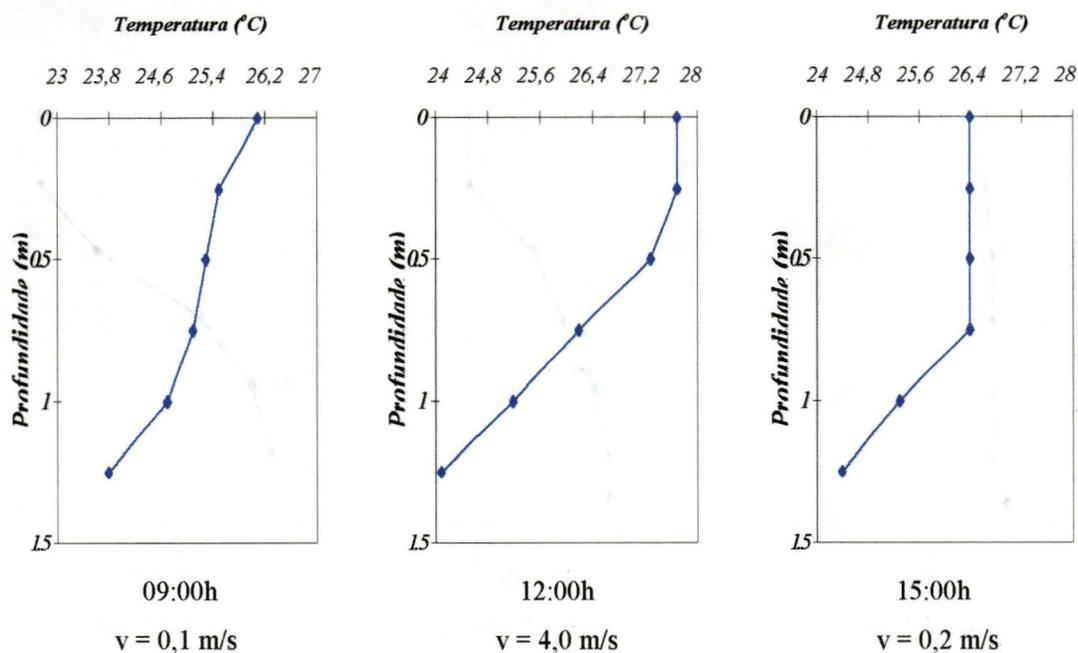


FIGURA 70 - Perfis Térmicos e velocidade do vento a 10,0 m da superfície, na estação de estudo da represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96 (Período das águas) - Verão, nos horários: 09:00h, 12:00h e 15:00h

Na época do verão (período chuvoso), observou-se a ocorrência de estratificação na coluna d'água, cada vez mais distante da superfície ao transcorrer as horas do dia (Figura 70). A profundidade da zona de mistura foi portanto aumentando com o transcorrer dos horários de observação.

Durante o período de estudo, a temperatura da água na superfície da represa esteve aproximadamente entre 26,1°C e 27,7°C, e próximo ao fundo (em torno de 1,25 m) sua temperatura variou em torno de 23,8°C e 24,4°C.

Represa do Lobo - Ponto B - em 30/09/96

Período seco: Inverno

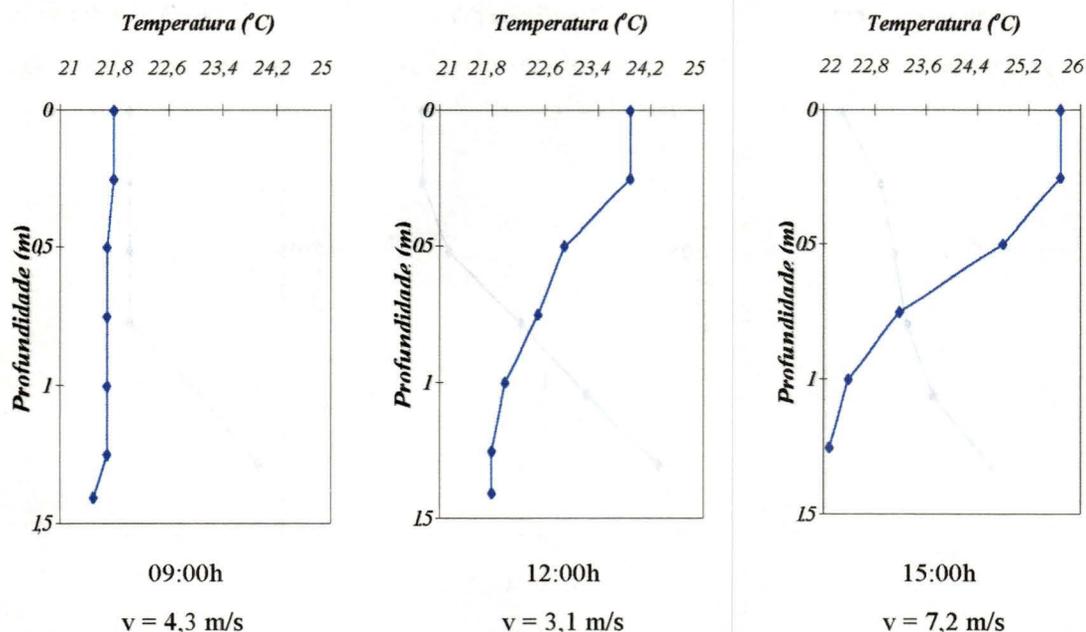


FIGURA 71 - Perfis Térmicos e velocidade do vento a 10,0m da superfície, na estação de estudo da represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96 (Período seco) - Inverno, nos horários: 09:00h, 12:00h e 15:00h

No inverno (período seco), caracterizado por ventos frequentes, provocando a turbulência e circulação da massa de água, apresentou homogeneidade na temperatura por praticamente toda a profundidade do reservatório às 09:00h, e estratificação às 12:00h e 15:00h a partir de 0,30 m (Figura 71).

A temperatura da água na superfície deste, esteve entre 21,8°C e 25,7°C aproximadamente, e nas proximidades de 1,40 m de profundidade, em torno de 21,5°C e 22,0°C.

5.7 Determinação de Outras Variáveis Físicas e Químicas (Variáveis Abióticas)

As medidas efetuadas para tais variáveis foram dispostas em tabelas como se segue, com a finalidade de complementar as informações sobre o padrão vertical dos sistemas.

Os dados são apresentados para cada reservatório em datas e horários como estabelecidos anteriormente.

TABELA 17 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μ S)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,0	7,30	146	9,0	7,15
0,50	7,30	146	8,0	7,08
1,00	7,26	146	5,0	6,94
1,50	7,25	146	7,0	6,58
2,00	7,18	146	8,0	6,56
2,50	7,12	146	3,0	6,67
3,00	7,10	146	3,0	6,56
3,50	7,10	147	4,0	6,52
4,00	7,09	147	4,0	6,56
4,50	7,06	147	5,0	6,46
5,00	7,05	147	4,0	6,17
6,00	7,02	147	4,0	6,34
7,00	7,00	147	4,0	6,32
8,00	6,98	147	12,0	5,99
9,00	6,93	147	5,0	5,82
10,0	6,85	147	3,0	5,10
11,0	6,78	147	3,0	4,92
12,0	6,70	147	4,0	4,22
13,0	6,64	147	3,0	3,85
14,0	6,60	147	3,0	3,78
15,0	6,60	148	3,0	3,62
16,0	6,59	148	3,0	3,66
17,0	6,62	148	4,0	3,34
18,0	6,35	148	3,0	3,29
19,0	6,36	148	3,0	3,06
20,0	6,33	148	3,0	2,96
21,0	6,36	148	5,0	2,76
22,0	6,38	149	4,0	2,86
23,0	6,40	149	3,0	2,75
24,0	6,41	149	4,0	2,77

TABELA 18 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μ S)	Turbidez (N. T. U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	8,81	147	7,0	10,38
0,50	8,82	147	16,0	10,01
1,00	8,49	146	5,0	9,48
1,50	8,29	146	8,0	8,61
2,00	8,08	146	6,0	7,83
2,50	7,73	146	5,0	7,20
3,00	7,64	146	4,0	7,04
3,50	7,59	146	3,0	6,94
4,00	7,53	146	4,0	6,81
4,50	7,49	146	6,0	6,84
5,00	7,46	146	3,0	6,71
6,00	7,40	146	5,0	6,65
7,00	7,35	146	4,0	6,49
8,00	7,36	146	4,0	6,30
9,00	7,28	147	4,0	5,73
10,0	7,14	147	3,0	4,44
11,0	7,08	147	5,0	4,30
12,0	7,05	147	3,0	4,10
13,0	7,01	147	3,0	4,10
14,0	6,99	147	3,0	4,08
15,0	7,00	147	3,0	3,82
16,0	6,98	147	3,0	3,80
17,0	6,95	147	3,0	3,78
18,0	6,94	147	4,0	3,83
19,0	6,91	148	4,0	3,45
20,0	6,88	148	4,0	3,29
21,0	6,85	148	5,0	3,13
22,0	6,83	148	3,0	3,07
23,0	6,82	148	3,0	2,86
24,0	6,80	148	4,0	2,67

TABELA 19 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa de Barra Bonita em 23/02/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μ S)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	8,75	147	9,0	10,04
0,50	8,76	147	10,0	9,53
1,00	8,73	147	9,0	10,13
1,50	8,41	146	5,0	8,85
2,00	7,96	146	5,0	6,95
2,50	7,67	146	5,0	7,02
3,00	7,58	146	3,0	6,92
3,50	7,54	146	4,0	7,08
4,00	7,48	146	6,0	7,21
4,50	7,48	146	4,0	7,26
5,00	7,47	146	4,0	7,16
6,00	7,44	146	3,0	6,84
7,00	7,36	146	3,0	5,89
8,00	7,20	147	3,0	5,29
9,00	7,09	147	3,0	4,63
10,0	7,03	147	7,0	4,39
11,0	7,01	147	3,0	4,10
12,0	6,99	147	4,0	4,14
13,0	6,96	147	4,0	3,83
14,0	6,91	147	4,0	3,45
15,0	6,90	147	4,0	3,29
16,0	6,87	148	4,0	3,05
17,0	6,85	148	4,0	3,09
18,0	6,83	148	4,0	2,84
19,0	6,81	148	4,0	3,45
20,0	6,81	148	4,0	3,06
21,0	6,78	148	5,0	2,83
22,0	6,77	148	4,0	2,69
23,0	6,75	148	4,0	2,80
24,0	6,74	148	4,0	2,73

TABELA 20 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μ S)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	7,60	197	1,0	8,49
0,50	7,60	197	2,0	8,48
1,00	7,23	196	1,0	8,56
1,50	7,13	197	1,0	8,69
2,00	7,14	197	1,0	8,37
2,50	7,14	196	1,0	8,37
3,00	7,10	196	1,0	8,37
3,50	7,10	197	2,0	8,42
4,00	7,06	197	0	8,42
4,50	7,06	197	0	8,54
5,00	7,06	196	0	8,55
6,00	7,05	197	2,0	8,73
7,00	7,05	197	2,0	8,73
8,00	7,05	197	1,0	8,46
9,00	7,07	197	1,0	8,46
10,0	7,07	197	1,0	8,56
11,0	7,07	197	1,0	8,91
12,0	7,07	197	2,0	8,91
13,0	7,10	197	2,0	8,91
14,0	7,10	197	1,0	8,82
15,0	7,11	198	1,0	8,56
16,0	7,13	197	0	8,48
17,0	7,13	197	0	8,82
18,0	7,14	198	0	8,82
19,0	7,14	198	0	8,54
20,0	7,19	198	1,0	8,62
21,0	7,17	198	0	8,93
22,0	7,33	198	2,0	8,75
23,0	7,33	197	2,0	8,75
24,0	7,33	197	3,0	8,77
25,0	7,13	197	3,0	8,57

TABELA 21 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μS)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	7,26	196	2,0	8,59
0,50	7,22	197	1,0	8,54
1,00	7,22	197	1,0	8,54
1,50	7,25	197	0	8,75
2,00	7,25	197	1,0	8,48
2,50	7,22	197	1,0	8,53
3,00	7,18	197	1,0	8,75
3,50	7,19	197	1,0	8,48
4,00	7,20	197	1,0	8,77
4,50	7,22	197	0	8,64
5,00	7,17	197	0	8,59
6,00	7,21	197	2,0	8,18
7,00	7,15	197	1,0	8,28
8,00	7,14	197	1,0	8,53
9,00	7,11	197	0	8,38
10,0	7,09	197	0	8,48
11,0	7,07	197	1,0	8,63
12,0	7,04	197	1,0	8,60
13,0	7,03	197	0	8,20
14,0	7,04	197	2,0	8,10
15,0	7,05	198	1,0	8,32
16,0	7,07	197	1,0	8,32
17,0	7,07	197	1,0	8,12
18,0	7,07	197	1,0	8,25
19,0	7,07	198	0	8,45
20,0	7,07	198	1,0	8,57
21,0	7,06	198	1,0	8,24
22,0	7,07	198	1,0	8,39
23,0	7,07	197	2,0	8,34
24,0	7,09	197	1,0	8,08
25,0	7,12	198	2,0	8,40

TABELA 22 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa de Barra Bonita em 01/08/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno

Profundidade (m)	pH	Condutividade (µS)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	7,25	198	0	8,44
0,50	7,25	198	1,0	8,24
1,00	7,25	198	1,0	8,41
1,50	7,28	197	1,0	8,39
2,00	7,25	197	1,0	8,50
2,50	7,25	197	1,0	8,55
3,00	7,24	197	1,0	8,13
3,50	7,22	198	2,0	8,40
4,00	7,26	198	2,0	8,58
4,50	7,23	197	2,0	8,47
5,00	7,20	197	0	8,57
6,00	7,20	197	1,0	8,28
7,00	7,18	197	1,0	8,51
8,00	7,20	197	1,0	8,25
9,00	7,16	197	1,0	8,44
10,0	7,12	197	0	8,48
11,0	7,11	197	1,0	8,44
12,0	7,10	197	1,0	8,63
13,0	7,07	198	1,0	8,40
14,0	7,05	197	1,0	8,52
15,0	7,02	197	1,0	8,50
16,0	7,03	196	1,0	8,29
17,0	7,02	197	1,0	8,21
18,0	7,02	197	1,0	8,11
19,0	7,02	197	0	8,02
20,0	7,02	197	1,0	8,40
21,0	7,02	198	1,0	8,10
22,0	7,02	197	1,0	8,07
23,0	7,02	196	1,0	8,10
24,0	7,03	197	1,0	8,18
25,0	7,03	197	1,0	8,09

TABELA 23 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 09:00h (Período chuvoso) - Verão

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μ S)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	6,70	9	3,0	6,08
0,50	6,62	9	4,0	5,86
1,00	6,51	9	3,0	5,84
1,50	6,44	9	3,0	5,71
2,00	6,42	9	3,0	5,43
2,50	6,34	9	3,0	5,66
3,00	6,25	9	4,0	5,34
3,50	6,22	9	3,0	5,48
4,00	6,12	9	4,0	5,15
4,50	6,15	9	3,0	5,15
5,00	6,10	9	4,0	5,28
5,50	6,00	9	4,0	5,57
6,00	6,06	9	4,0	5,58

TABELA 24 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μ S)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	6,55	10	5,0	8,33
0,50	6,46	10	3,0	6,08
1,00	6,34	9	5,0	6,09
1,50	6,34	9	4,0	6,02
2,00	6,30	9	4,0	6,43
2,50	6,14	9	3,0	6,35
3,00	6,16	9	3,0	6,26
3,50	6,10	9	3,0	5,97
4,00	6,07	9	5,0	5,63
4,50	5,93	9	3,0	4,96
5,00	5,81	9	3,0	4,48
5,50	5,72	9	3,0	4,64
6,00	5,76	9	2,0	4,61

TABELA 25 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto A, em 05/03/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μ S)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	5,85	9	6,0	6,84
0,50	5,82	9	5,0	6,86
1,00	5,83	9	4,0	6,75
1,50	5,90	9	4,0	7,05
2,00	5,94	9	5,0	6,85
2,50	5,76	8	4,0	6,50
3,00	5,78	8	4,0	6,37
3,50	5,79	8	3,0	6,20
4,00	5,80	9	3,0	5,40
4,50	5,60	9	2,0	6,29
5,00	5,70	9	3,0	5,43
5,50	5,65	9	3,0	5,05
6,00	5,61	9	3,0	5,54

TABELA 26 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 09:00h (Período chuvoso) Verão

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μ S)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	5,68	12	4,0	5,98
0,25	5,72	11	3,0	5,62
0,50	5,75	11	3,0	5,95
0,75	5,74	11	4,0	5,55
1,00	5,77	11	4,0	6,86
1,25	5,65	11	3,0	4,65

TABELA 27 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 12:00h (Período chuvoso) - Verão

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μ S)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	6,02	10	5,0	6,93
0,25	5,97	10	4,0	7,26
0,50	5,97	10	4,0	7,23
0,75	5,89	10	4,0	6,18
1,00	5,77	11	4,0	6,21
1,25	5,66	11	5,0	5,59

TABELA 28 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto B, em 04/03/96, às 15:00h (Período chuvoso) - Verão

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μ S)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	6,07	10	4,0	7,05
0,25	5,99	10	4,0	7,04
0,50	6,04	10	4,0	7,14
0,75	6,01	10	4,0	6,89
1,00	5,84	11	3,0	5,68
1,25	5,68	12	4,0	5,31

TABELA 29 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 09:00h (Período seco) - Inverno

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μ S)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	7,42	5	4,0	8,60
0,50	6,78	5	4,0	8,11
1,00	6,81	5	4,0	8,10
1,50	6,60	5	4,0	8,14
2,00	6,65	5	4,0	8,17
2,50	6,49	5	4,0	8,25
3,00	6,55	5	4,0	8,25
3,50	6,51	5	4,0	8,25
4,00	6,50	5	4,0	8,33
4,50	6,43	5	4,0	8,30
5,00	6,38	5	4,0	8,30
5,50	6,38	5	4,0	8,30
6,00	6,38	5	4,0	8,20
6,50	6,26	5	4,0	8,14
7,00	6,14	5	3,0	7,64

TABELA 30 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μS)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	6,02	5	6,0	8,73
0,50	6,02	5	5,0	8,74
1,00	6,04	5	5,0	8,83
1,50	5,82	5	5,0	8,57
2,00	5,87	5	5,0	8,34
2,50	5,87	5	5,0	8,21
3,00	5,73	5	4,0	8,06
3,50	5,69	5	4,0	8,20
4,00	5,60	5	5,0	8,51
4,50	5,55	5	5,0	8,38
5,00	5,51	5	5,0	8,16
5,50	5,49	5	4,0	8,16
6,00	5,49	5	4,0	8,23
6,50	5,35	5	5,0	6,81
7,00	5,19	5	6,0	5,41

TABELA 31 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto A, em 26/09/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μS)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	6,11	5	4,0	8,85
0,50	6,25	5	4,0	8,57
1,00	6,24	5	4,0	8,64
1,50	6,24	5	5,0	8,19
2,00	6,27	5	4,0	8,58
2,50	6,27	5	4,0	8,62
3,00	6,27	5	4,0	8,79
3,50	6,27	5	4,0	8,66
4,00	6,28	5	4,0	8,58
4,50	6,20	5	4,0	8,81
5,00	6,14	5	4,0	8,68
5,50	6,14	5	4,0	8,64
6,00	5,91	5	4,0	8,23
6,50	5,76	5	4,0	8,15
7,00	5,53	5	5,0	7,46

TABELA 32 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 9:00h (Período seco) - Inverno

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μS)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	5,60	6	10,0	8,14
0,25	5,60	6	10,0	8,14
0,50	5,60	6	11,0	8,14
0,75	5,60	6	11,0	8,14
1,00	5,54	6	10,0	8,16
1,25	5,54	6	10,0	8,16
1,40	5,54	6	13,0	7,42

TABELA 33 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 12:00h (Período seco) - Inverno

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μS)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	5,77	6	13,0	9,14
0,25	5,77	6	13,0	9,14
0,50	5,72	6	14,0	9,15
0,75	5,61	6	16,0	9,69
1,00	5,61	6	16,0	8,81
1,25	5,44	6	19,0	8,45
1,40	5,57	6	15,0	7,63

TABELA 34 - Valores de pH, Condutividade, Turbidez e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água da represa do Lobo, Ponto B, em 30/09/96, às 15:00h (Período seco) - Inverno

Profundidade (m)	pH	Condutividade (μS)	Turbidez (N.T.U.)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
0,00	5,84	6	6,0	8,63
0,25	5,83	6	6,0	8,59
0,50	5,79	6	9,0	9,63
0,75	5,89	6	9,0	9,84
1,00	5,88	6	11,0	9,47
1,25	5,77	6	13,0	8,94
1,40	*	*	*	*

(*) Dado não obtido

5.8 Determinação das Condições Meteorológicas no Período de Estudo

Os dados hidrometeorológicos das estações de estudo são de extrema importância para a análise das influências e interferências na penetração de luz subaquática. Estes dados são apresentados na forma de tabelas e figuras, compreendendo o período de dez dias antes da data de atividade de campo e conjuntamente, uma relação referente à ocorrência de ventos em horários mais detalhados, nos dias de coleta e naquele imediatamente anterior à ela, obtendo-se uma visão da situação climática e hidrológica dos reservatórios em questão.

As Tabelas 35 a 37, são referentes aos dados hidrometeorológicos da Represa de Barra Bonita, cujos valores indicados na Tabela 35, para os intervalos de tempo (horário) são determinados pela estação meteorológica. Os dados das outras duas tabelas fornecem os valores médios diários de cada variável, para as duas estações do ano (verão e inverno).

TABELA 35 - Velocidade do vento, em m/s, na represa de Barra Bonita, a 1,0 m e a 10,0 m de altura com relação à superfície deste reservatório, nos dias de coleta e no dia imediatamente anterior a estes

Horário	Verão (Período chuvoso)				Inverno (Período seco)			
	22/02/96		23/02/96		31/07/96		01/08/96	
	1,0m	10,0m	1,0m	10,0m	1,0m	10,0m	1,0m	10,0m
(09:00-15:00)h	1,02	2,78	0,69	1,99	4,40	7,83	3,06	5,93
(15:00-21:00)h	0,88	2,73	0,28	1,62	1,44	3,84	0,19	1,53
(21:00-09:00)h	2,55	6,94	0,09	1,58	5,51	10,23	3,33	8,61
(09:00-09:00)h	1,11	3,11	0,27	1,30	2,84	5,48	1,64	4,02

Os dados da Tabela 35, indicam que os valores das velocidades do vento, nas noites anteriores às atividades de campo, foram suficientes para provocar circulação da água, com a mistura do material em suspensão e

conseqüentemente aumento na turbidez da água, principalmente nas proximidades da superfície.

Nesta região, onde se encontram localizados os dois reservatórios em estudo, a época do verão, é caracterizada por chuvas, com céu encoberto, apresentando diminuição nas horas de insolação em relação ao inverno, como indicam os dados das tabelas para ambos os ambientes aquáticos.

A ocorrência de chuvas, na represa de Barra Bonita, no verão, conforme Tabela 36, ocasiona carreamento de material particulado para o reservatório, interferindo na penetração da luz subaquática.

TABELA 36 - Valores médios diários das variáveis climatológicas da represa de Barra Bonita em fevereiro/96 - Verão

Data	Temperatura Média do ar (°C)		Temperatura Média da água (°C)	Velocidade média do vento (m/s)		Altura Pluviométrica (mm)	Pressão Atmosférica (mbar)	Umidade Relativa (%)	Insolação (h)
	Bulbo Úmido	Bulbo Seco		1,0m	10,0m				
11/02	21,8	23,5	25,4	0,82	2,26	21,2	958,9	86	2,6
13/02	19,6	23,0	23,3	0,68	1,92	0,0	963,1	75	9,8
14/02	20,3	23,5	23,9	2,78	4,90	0,0	962,9	76	10,9
15/02	22,0	25,7	26,7	3,10	5,95	0,0	962,9	75	7,4
16/02	22,9	26,7	27,1	5,06	7,87	0,0	962,6	74	10,1
17/02	22,6	26,6	27,6	2,65	6,02	0,0	959,4	73	7,8
18/02	21,8	24,2	25,7	1,86	5,05	2,3	958,7	82	5,4
19/02	21,7	24,8	26,2	1,03	3,62	45,3	958,6	79	9,5
20/02	22,5	25,6	25,9	0,73	2,05	0,0	957,5	79	10,7
21/02	21,9	23,9	25,9	0,83	1,98	2,6	956,0	85	6,2
22/02	22,6	25,6	26,6	1,04	2,37	0,0	957,3	79	8,6
23/02	22,5	25,7	26,2	2,13	4,21	0,0	959,3	78	9,6

Para o inverno, com ausência de chuvas freqüentes, os dias são mais claros e com maior período de insolação, comparativamente com os do verão (Tabela 37). Nesta época, os ventos são suficientemente fortes para provocar

circulação na coluna d'água, provocando ressuspensão de material do sedimento, aumentando a turbidez da água, tornando sua ocorrência fator relevante na atenuação da luz ao atravessar o meio aquático (Tabela 35).

Não foram fornecidos dados sobre a radiação solar atingindo a superfície terrestre, para este reservatório.

TABELA 37 - Valores médios diários das variáveis climatológicas da represa de Barra Bonita em julho e agosto/96 - Inverno: Período seco

Data	Temperatura Média do ar (°C)		Temperatura Média da água (°C)	Velocidade média do vento (m/s)		Altura Pluviométrica (mm)	Pressão Atmosférica (mbar)	Umidade Relativa (%)	Insolação (h)
	Bulbo Úmido	Bulbo Seco		1,0m	10,0m				
22/07	10,1	12,9	13,5	5,02	7,88	0,0	969,5	73	10,3
23/07	11,6	14,6	15,3	2,95	5,31	0,0	968,5	73	10,1
24/07	12,5	14,8	16,7	0,71	2,01	0,0	966,7	80	8,2
25/07	13,3	16,4	18,2	0,29	1,05	0,0	963,7	77	9,4
26/07	13,6	18,2	19,1	0,95	2,06	0,0	961,4	68	9,1
27/07	15,4	17,8	18,2	1,03	2,94	0,9	965,2	80	4,1
28/07	15,8	17,8	18,9	1,24	2,87	0,0	966,5	85	5,9
29/07	14,8	16,5	17,7	4,02	6,49	0,0	968,3	86	5,8
30/07	12,6	15,4	16,3	4,55	7,23	0,0	969,7	75	9,2
31/07	12,6	15,8	16,8	2,84	5,47	0,0	969,5	71	8,9
01/08	10,7	25,7	15,5	1,64	4,02	0,0	968,2	72	9,0

A Tabela 38 indica os valores da velocidade do vento, em m/s, a 10 m de altura em relação à superfície da represa do Lobo, nos dias de coleta e o anterior à mesma.

Os dados hidrometeorológicos para este reservatório fornecem valores médios diários de cada variável e são apresentados nas Tabelas 39 e 40, para o verão e o inverno, respectivamente.

TABELA 38 - Velocidade do vento na represa do Lobo, em m/s, a 10,0m de altura em relação à superfície deste reservatório, nos dias: 03, 04 e 05/03/96 (Verão: Período chuvoso) e 25, 26, 28, 29 e 30/09/96 (Inverno: Período seco)

Horário (h)	Verão			Inverno				
	03/03/96	04/03/96	05/03/96	25/09/96	26/09/96	28/09/96	29/09/96	30/09/96
03:00	2,1	2,1	*	8,9	4,5	*	0,2	2,1
04:00	3,2	1,0	*	11,2	9,0	*	1,5	1,5
06:00	2,8	0,1	*	6,4	6,5	*	1,0	0
07:35	3,1	0	*	4,2	7,3	*	3,2	2,9
08:15	2,7	0	2,9	4,8	6,2	4,4	4,9	4,5
08:25	2,0	0	3,9	4,5	5,0	4,8	1,1	5,8
09:00	1,0	0,1	0,8	3,9	4,3	10,0	0,5	4,3
12:00	4,8	4,0	1,0	3,1	3,8	4,2	0	3,1
12:35	9,1	10,3	1,0	5,3	4,1	7,9	*	2,5
13:45	3,9	4,0	6,0	2,4	5,5	3,5	1,6	4,5
14:10	3,1	3,3	3,1	1,5	7,0	4,8	4,8	6,3
14:50	4,1	1,9	1,2	1,5	7,0	7,4	5,1	6,0
15:00	4,5	0,2	1,0	1,5	4,2	7,3	4,3	7,2
15:15	*	*	*	1,5	6,8	7,8	11,4	7,9
16:10	*	*	*	1,3	5,0	7,9	10,0	9,0
16:45	10,9	1,0	5,1	*	*	*	*	*
18:00	5,1	0,1	3,0	0	5,1	1,4	2,1	5,5
21:00	0,8	0,1	0	5,1	8,4	1,0	0	11,1
24:00	0,2	0,1	1,0	1,8	7,0	2,0	0	*

(*) Dado não obtido

A ocorrência de ventos, para a represa do Lobo é também mais acentuada no inverno, como indicam os dados da Tabela 38. Em alguns determinados horários, observa-se no verão, ventos relativamente fortes, que provocam circulação e turbulência da água.

Chuvas frequentes no verão, apresentando dias de nebulosidade, afetam tanto a intensidade que luz que chega no sistema aquático como a penetração de luz no mesmo devido a entrada de material particulado no reservatório (Tabela 39).

TABELA 39 - Valores médios diários das variáveis climatológicas da represa do Lobo nos meses de fevereiro e março/96 - Verão: Período chuvoso

Data	Temperatura Média do ar (°C)	Temperatura Média da água (°C)		Velocidade Média do vento (m/s)		Altura Pluviométrica (mm)	Pressão Atmosférica (mbar)	Umidade Relativa (%)
		Máximo	Mínimo	2,0m	10,0m			
23/02	23,3	33,0	22,5	0,95	1,86	0,0	936,5	72,7
24/02	22,5	29,0	22,2	0,39	1,35	0,0	937,4	80,5
25/02	24,0	35,5	18,0	0,86	2,06	0,4	936,1	72,5
26/02	24,8	35,2	19,0	0,83	1,94	1,6	935,1	*
27/02	22,6	31,0	20,5	0,66	2,05	30,2	936,2	*
28/02	24,0	33,0	22,5	2,24	2,19	38,2	935,1	*
29/02	23,2	32,5	22,5	0,88	1,69	16,9	940,2	*
01/03	22,8	31,6	21,2	0,94	2,44	0,5	934,2	76,2
02/03	22,2	29,5	21,2	1,39	3,07	13,0	936,2	82,7
03/03	21,9	30,2	20,8	1,06	2,31	1,7	935,1	75,0
04/03	21,6	29,0	20,0	0,64	2,55	0,4	933,5	82,2
05/03	23,6	33,4	21,0	0,28	2,37	7,0	934,4	63,0

(*) Dado não obtido

O inverno é caracterizado por ventos intensos e céu aberto, com dias apresentando um período maior de insolação, em relação ao verão (Tabelas 38 e 42). A ocorrência de ventos, nesta época do ano, pode ocasionar ressuspensão de material do sedimento apresentando influência na atenuação da luz subaquática. A Tabela 40, fornece dados médios diários das variáveis climatológicas, observando-se baixos índices de precipitação pluviométrica nesta época do ano.

TABELA 40 - Valores médios diários das variáveis climatológicas da represa do Lobo no mês de setembro/96 - Inverno: Período seco

Data	Temperatura Média do ar (°C)	Temperatura Média da água (°C)		Velocidade Média do vento (m/s)		Altura Pluviométrica (mm)	Pressão Atmosférica (mbar)	Umidade Relativa (%)
		Máximo	Mínimo	2,0m	10,0m			
16/09	21,1	29,8	13,5	0,48	1,85	0,0	937,3	55,5
17/09	17,6	26,0	10,0	4,56	*	19,8	937,1	68,2
18/09	17,1	26,0	9,8	2,95	*	0,0	941,4	65,7
19/09	19,7	29,0	12,2	1,38	*	0,0	942,4	65,2
20/09	20,7	30,1	13,5	0,86	*	0,0	941,2	59,7
21/09	21,1	30,8	13,0	0,91	*	0,0	940,1	52,5
22/09	23,0	29,2	14,0	0,82	*	0,0	939,1	55
23/09	24,3	29,6	16,8	1,24	*	0,0	936,7	46,7
24/09	24,1	30,5	16,0	2,52	*	0,0	938,8	52,5
25/09	20,9	24,3	16,8	1,04	*	2,6	938,8	73,7
26/09	21,3	29,5	15,0	3,01	*	1,7	939,7	54,2
27/09	21,7	30,0	14,5	2,09	*	0,0	939,6	54,2
28/09	20,9	28,0	15,0	1,82	*	0,0	937,4	64,2
29/09	23,2	31,0	15,1	0,73	*	0,0	939,1	64,0
30/09	21,3	30,8	12,8	3,13	*	2,6	939,5	47,5

(*) Dado não obtido

Os valores médios diários para a radiação solar total incidente na superfície da represa do Lobo foram fornecidos pela Estação Meteorológica, sendo calculado o valor para a radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), considerando-a como sendo aproximadamente 46% da radiação solar total (KIRK, 1983). Estes dados e as horas de insolação, para o verão e para o inverno, estão indicados nas Tabelas 41 e 42 respectivamente.

A Estação Meteorológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, na represa do Lobo, forneceu dados para a radiação solar que atinge a sua superfície, a cada hora do dia, que estão indicados nas Tabelas 43 a 45.

As Figuras 72 a 77 indicam a direção e a velocidade do vento, em m/s, nos dias 03, 04 e 05/03/96 (Verão) e nos dias 25, 26, 29 e 30/09/96 (Inverno).

TABELA 41 - Valores médios diários obtidos na estação meteorológica, localizada na represa do Lobo, nos meses de fevereiro e março/96 (Verão: Período chuvoso), para a insolação, radiação total e radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) na superfície terrestre

Data	Radiação Solar				Insolação (h)
	Radiação Total		R.F.A.		
	(Cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	(μEinstein.m ⁻² .s ⁻¹)	(Cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	(μEinstein.m ⁻² .s ⁻¹)	
23/02	428,60	942,92	197,16	433,74	6,00
24/02	241,92	532,22	111,28	244,82	3,80
25/02	458,02	1.007,64	210,69	463,52	7,40
26/02	544,46	1.197,81	250,45	550,99	7,30
27/02	298,34	656,35	137,24	301,92	1,40
28/02	523,45	1.151,59	240,79	529,73	6,00
29/02	400,99	882,18	184,46	405,80	4,60
01/03	339,47	746,83	156,16	343,54	1,60
02/03	317,47	698,43	146,04	321,28	4,50
03/03	398,92	877,62	183,50	403,71	4,50
04/03	336,50	740,30	154,79	340,54	4,70
05/03	466,69	1.026,72	214,68	472,29	10,40

TABELA 42 - Valores médios diários obtidos na estação meteorológica, localizada na represa do Lobo, no mês de setembro/96 (Inverno: Período seco), para a insolação, radiação total e radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) na superfície terrestre

Data	Radiação Solar				Insolação (h)
	Radiação Total		R.F.A.		
	(Cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	(μEinstein.m ⁻² .s ⁻¹)	(Cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	(μEinstein.m ⁻² .s ⁻¹)	
16/09	459,38	1010,64	211,31	484,88	8,00
17/09	438,98	965,76	201,93	444,25	8,80
18/09	476,29	1047,64	219,09	482,00	10,50
19/09	460,55	1013,21	211,85	466,07	10,60
20/09	440,73	969,61	202,74	446,03	9,40
21/09	463,46	1019,61	213,19	469,02	10,10
22/09	444,22	977,28	204,34	449,55	9,80
23/09	402,25	884,95	185,04	407,09	8,20
24/09	386,51	850,32	177,79	391,14	7,60
25/09	234,35	515,57	107,80	237,16	1,70
26/09	450,64	991,41	207,29	456,04	9,50
27/09	446,56	982,43	205,42	451,92	8,80
28/09	394,09	867,00	205,42	451,92	5,20
29/09	359,69	791,32	165,46	364,01	7,90
30/09	489,70	1077,34	225,26	495,57	10,50

TABELA 43 - Valores obtidos para radiação fotossinteticamente ativa e radiação solar que atinge a superfície da terra, para a represa do Lobo, nos horários indicados, para os dias: 03, 04 e 05/03/96 - Verão: Período chuvoso

Hora	03/03/96				04/03/96				05/03/96			
	Radiação Total		R.F.A.		Radiação Total		R.F.A.		Radiação Total		R.F.A.	
	(Cal.cm ⁻² .min ⁻¹)	(μEinst.m ⁻² .s ⁻¹)	(Cal.cm ⁻² .min ⁻¹)	(μEinst.m ⁻² .s ⁻¹)	(Cal.cm ⁻² .min ⁻¹)	(μEinst.m ⁻² .s ⁻¹)	(Cal.cm ⁻² .min ⁻¹)	(μEinst.m ⁻² .s ⁻¹)	(Cal.cm ⁻² .min ⁻¹)	(μEinst.m ⁻² .s ⁻¹)	(Cal.cm ⁻² .min ⁻¹)	(μEinst.m ⁻² .s ⁻¹)
06:00	0,10	313,81	0,05	144,35	0,20	627,62	0,09	288,71	0,00	0,00	0,00	0,00
07:00	0,50	1569,06	0,23	721,77	0,55	1727,55	0,25	794,67	0,16	500,83	0,07	231,40
08:00	0,69	2199,85	0,32	1011,93	0,50	1569,06	0,23	721,77	0,50	1569,06	0,23	721,40
09:00	0,92	2919,40	0,42	1342,92	0,69	2199,85	0,32	1011,93	0,89	2827,47	0,41	1300,64
10:00	1,14	3610,41	0,52	1660,79	0,91	2890,87	0,42	1329,80	1,16	3673,81	0,53	1689,95
11:00	1,34	4241,21	0,62	1950,96	1,11	3518,49	0,51	1618,51	0,70	2231,55	0,32	1026,51
12:00	0,54	1695,85	0,25	780,09	1,29	4082,72	0,59	1878,05	1,17	3705,51	0,54	1704,53
13:00	0,62	1977,96	0,29	909,86	0,06	187,02	0,03	86,03	1,08	3423,340	0,50	1574,76
14:00	0,71	2260,08	0,33	1039,63	0,01	31,70	0,01	14,58	0,84	2668,98	0,39	1227,73
15:00	0,04	126,79	0,02	58,33	0,04	126,79	0,02	58,33	0,74	2355,17	0,34	1083,38
16:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	187,02	0,03	86,03	0,45	1413,74	0,21	650,32
17:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	472,30	0,07	217,26	0,05	158,49	0,02	72,91
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	158,49	0,02	72,91	0,00	0,00	0,00	0,00

TABELA 45 - Valores obtidos para radiação fotossinteticamente ativa e radiação solar total na superfície terrestre, para a represa do Lobo, nos horários indicados, para os dias 29 e 30/09/96 - Inverno

Hor. (hs)	29/09/96				30/09/96			
	Radiação total		R.F.A.		Radiação total		R.F.A.	
	(Cal.cm ⁻² .min ⁻¹)	(μ Einst.m ⁻² .s ⁻¹)	(Cal.cm ⁻² .min ⁻¹)	(μ Einst.m ⁻² .s ⁻¹)	(Cal.cm ⁻² .min ⁻¹)	(μ Einst.m ⁻² .s ⁻¹)	(Cal.cm ⁻² .min ⁻¹)	(μ Einst.m ⁻² .s ⁻¹)
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	155,32	0,02	71,45
07:00	0,34	1077,74	0,16	495,76	0,39	1233,06	0,18	567,21
08:00	0,48	1508,83	0,22	694,06	0,63	2003,32	0,29	921,53
09:00	0,79	2434,41	0,35	1119,83	0,79	2494,64	0,36	1147,54
10:00	0,91	2894,04	0,42	1331,26	0,93	2957,43	0,43	1360,42
11:00	1,01	3201,51	0,47	1472,69	1,03	3264,90	0,47	1501,86
12:00	1,05	3325,13	0,48	1529,56	1,05	3325,13	0,48	1529,56
13:00	0,29	922,42	0,13	424,31	1,09	3448,75	0,50	1586,43
14:00	0,92	2925,74	0,43	1345,84	0,96	3043,02	0,44	1399,79
15:00	0,02	60,23	0,01	27,70	0,57	1816,30	0,26	835,50
16:00	0,04	123,62	0,02	56,87	0,49	1540,53	0,22	708,64
17:00	0,17	523,02	0,08	240,59	0,19	614,94	0,09	282,87
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

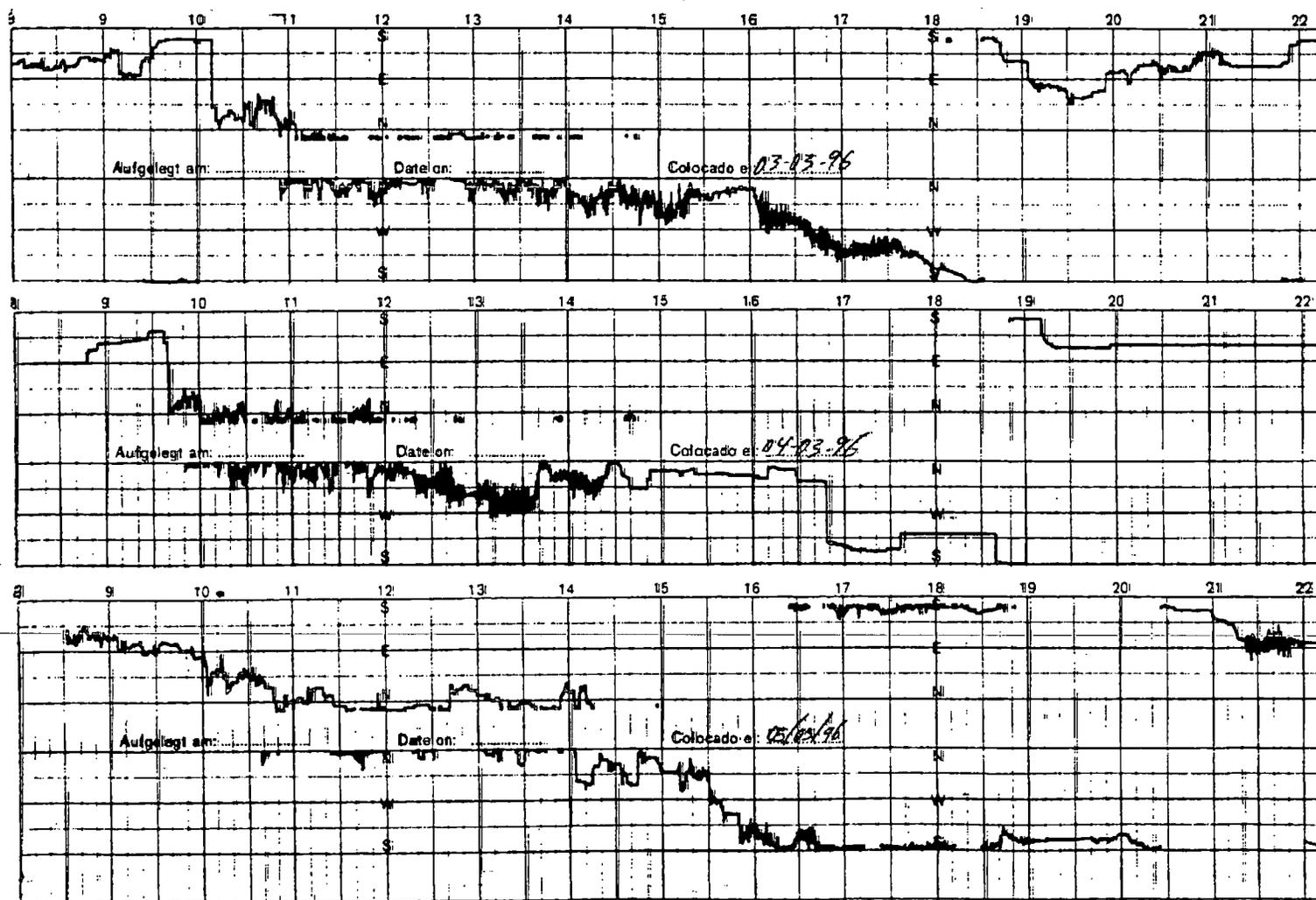


FIGURA 72 - Direção do vento na represa do Lobo, no período de 08:00h às 22:00h, nos dias 03, 04 e 05/03/96 - Verão: Período chuvoso

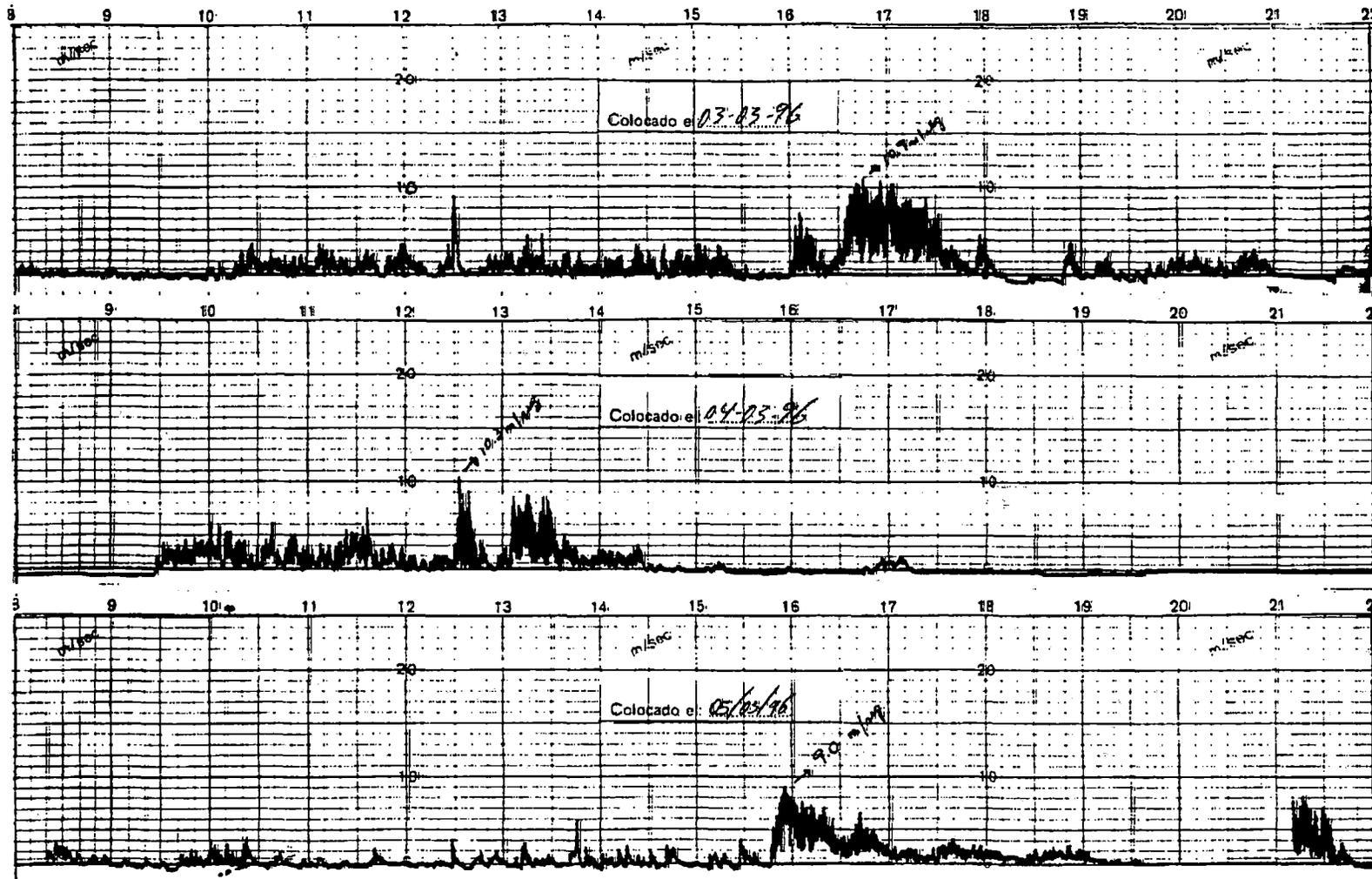


FIGURA 73 - Velocidade do vento, em m/s, na represa do Lobo no período entre 08:00h e 22:00h, nos dias 03, 04 e 05/03/96 - Verão: Período chuvoso

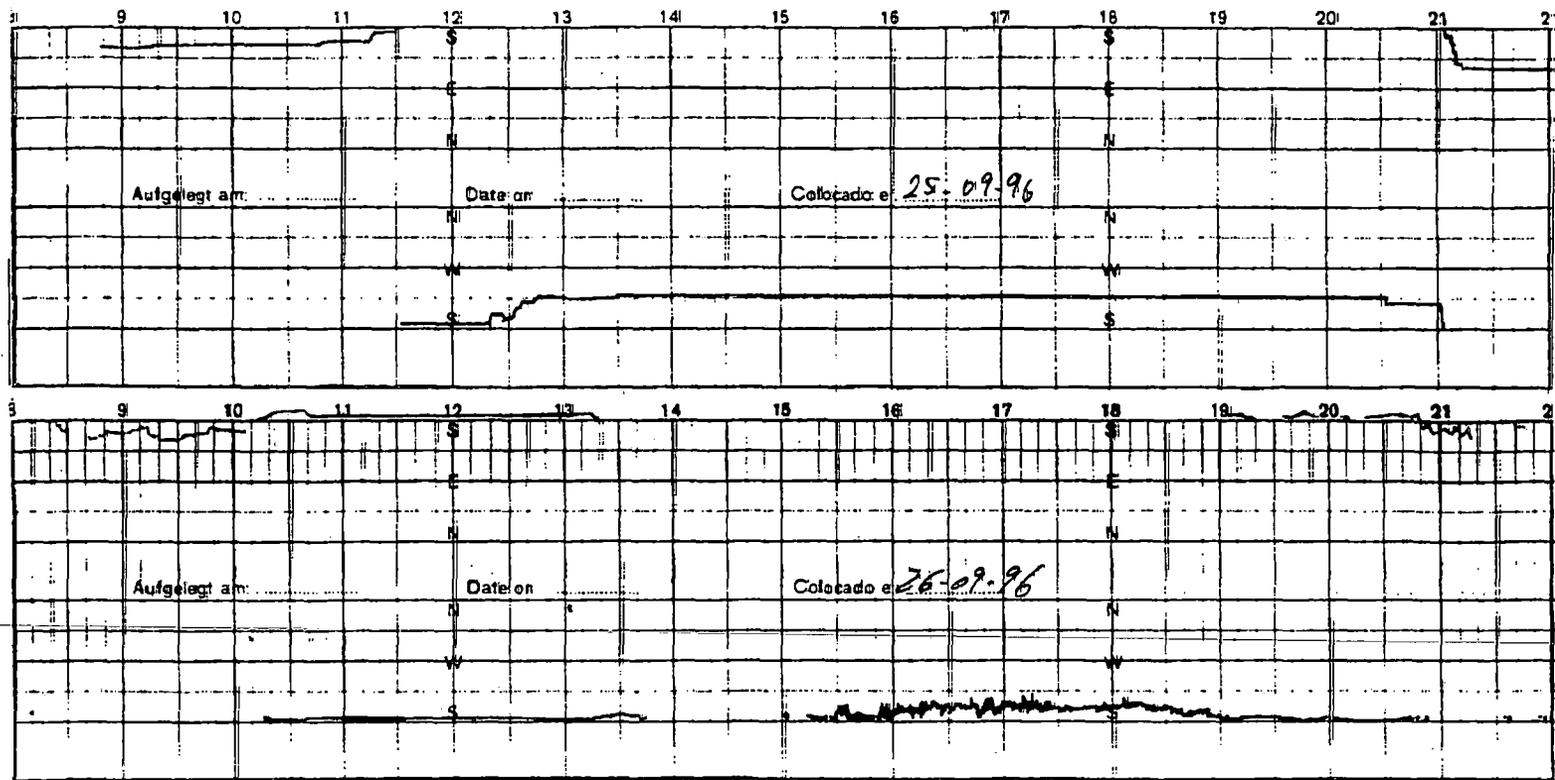


FIGURA 74 - Direção do vento na represa do Lobo, pelo período de 08:00h às 22:00h, nos dias 25 e 26/09/96 - Inverno: Período seco

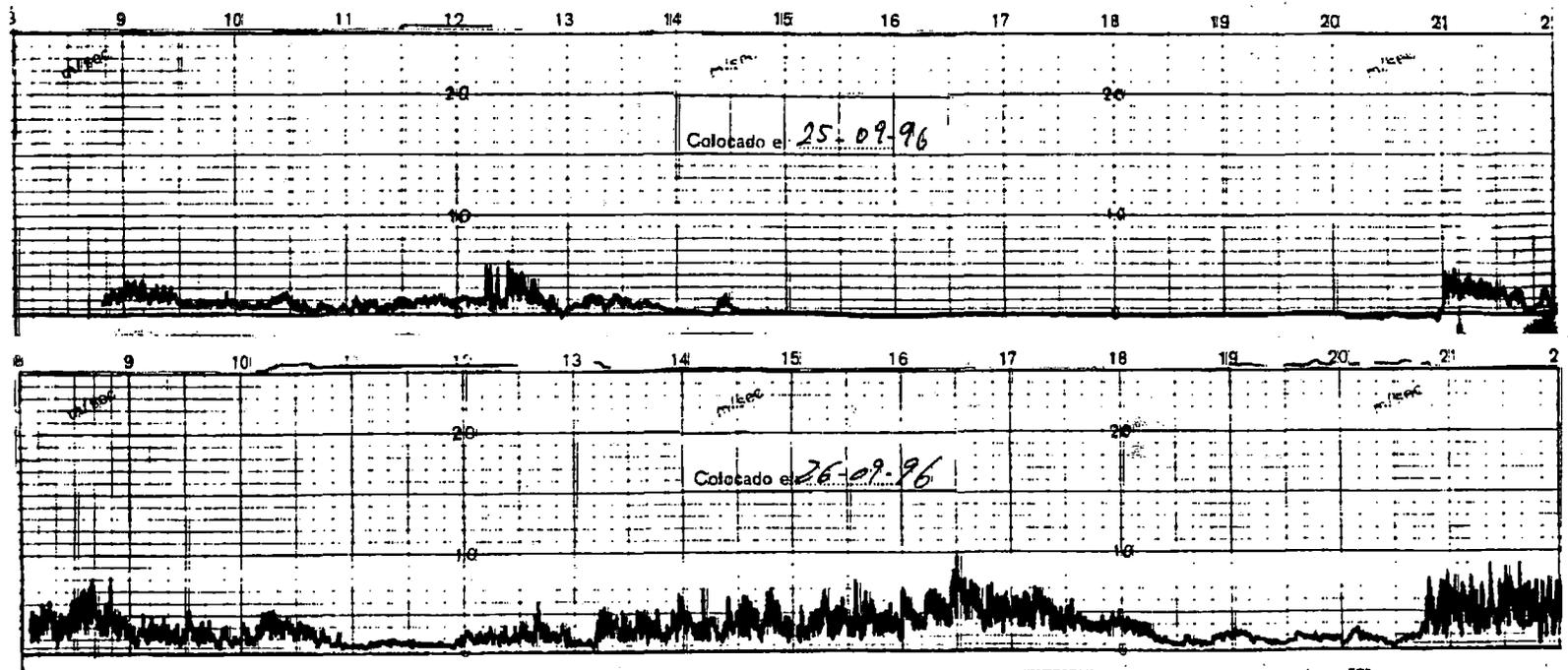


FIGURA 75 - Velocidade do vento, em m/s, na represa do Lobo no período entre 08:00h e 22:00h, nos dias 25 e 26/09/96 - Inverno: Período seco

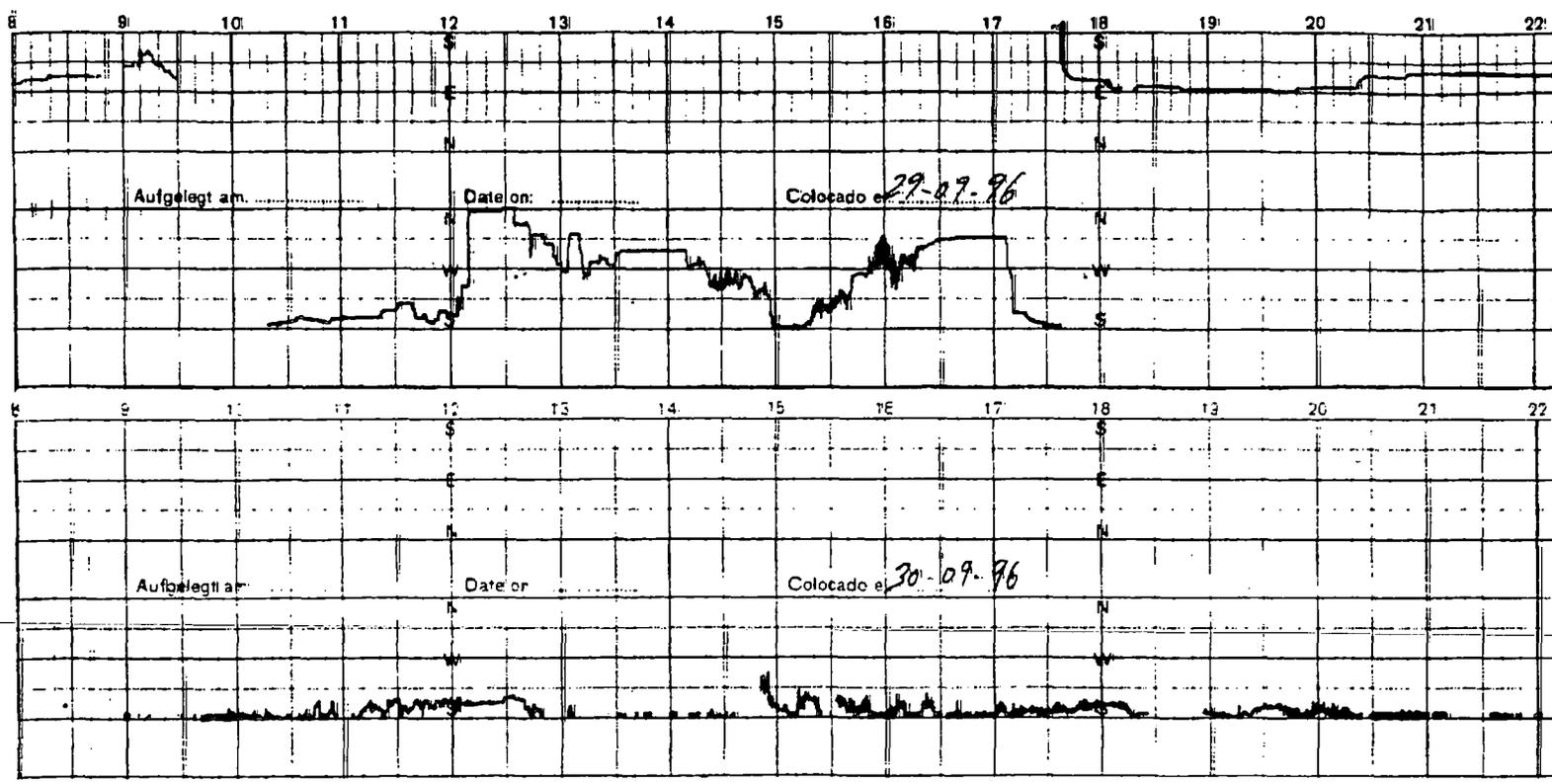


FIGURA 76 - Direção do vento na represa do Lobo, no período de 08:00h às 22:00h, nos dias 29 e 30/09/96 - Inverno: Período seco

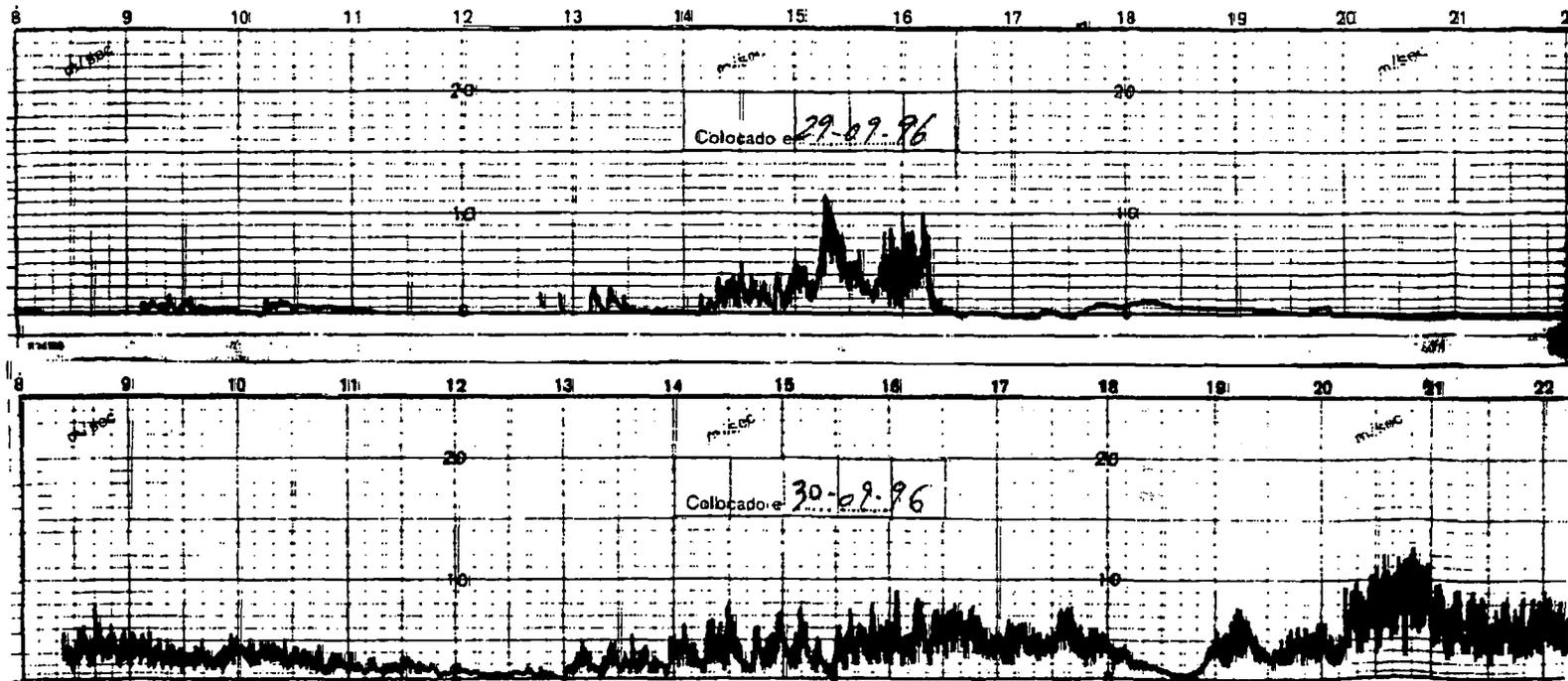


FIGURA 77 - Velocidade do vento, em m/s, na represa do Lobo, no período entre 08:00h e 22:00h, nos dias 29 e 30/09/96 - Inverno: Período seco

A penetração de luz nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo ocorreu de conformidade com o conteúdo da água, sendo grandemente influenciada pelas cargas alóctones e condições externas sobre estes sistemas.

Uma síntese deste estudo é apresentado nas Tabelas 46 e 47, como se segue:

TABELA 46 - Relações entre as profundidades: máxima, zona eufótica e zona de mistura no reservatório de Barra Bonita no verão (período chuvoso) e no inverno (período seco) e para o reservatório do Lobo no inverno (período seco)

Fatores	Represa Barra Bonita	Represa Barra Bonita/Represa Lobo (Ponto A)	
	Verão: Período chuvoso	Inverno: Período seco	
Z _{máx.} (m)	25,0	26,0	8,0
\bar{Z}_{eu} (m)	2,80	6,0	5,0
$\bar{Z}_{eu}/Z_{máx.}$	0,11	0,23	0,63
Z _{mix.} (m)	8,0	26,0	5,5
$\bar{Z}_{eu}/Z_{mix.}$	0,35	0,23	0,91

Como no período do verão, na represa do Lobo, existiram mecanismos vários de estratificação e circulação, foram calculadas as relações acima para os horários de observação, segundo a Tabela 47.

TABELA 47 - Relações entre as profundidades: máxima, zona eufótica e zona de mistura no reservatório do Lobo no verão (período chuvoso) para cada horário de estudo

Fatores	09:00h	12:00h	15:00h
Z _{máx.} (m)	7,0	7,0	7,0
\bar{Z}_{eu} (m)	3,30	3,30	3,30
$\bar{Z}_{eu}/Z_{máx.}$	0,47	0,47	0,47
Z _{mix.} (m)	6,0	0,50	1,0
$\bar{Z}_{eu}/Z_{mix.}$	0,55	6,60	3,30

O estudo da penetração de luz em cada ambiente, pôde ser sistematizado, mediante os dados das tabelas anteriores, obtendo-se:

- i. A profundidade da zona eufótica da represa de Barra Bonita é muito reduzida, em ambos os períodos estudados, quando comparada com a da represa do Lobo.
- ii. Em ambos os reservatórios, no inverno (período seco), ocorreu maior penetração de luz que no verão (período chuvoso), possivelmente em decorrência da entrada de material alóctone devido a chuvas freqüentes no verão.
- iii. A profundidade da zona de mistura na represa de Barra Bonita foi maior que a profundidade da zona eufótica em ambos os períodos de estudo, o que pode tornar a penetração de luz um fator limitante para a sua produção primária. Um esquema representativo é mostrado na Figura 78, que caracteriza tanto a penetração de luz como a zona de mistura em cada um dos períodos estudados.

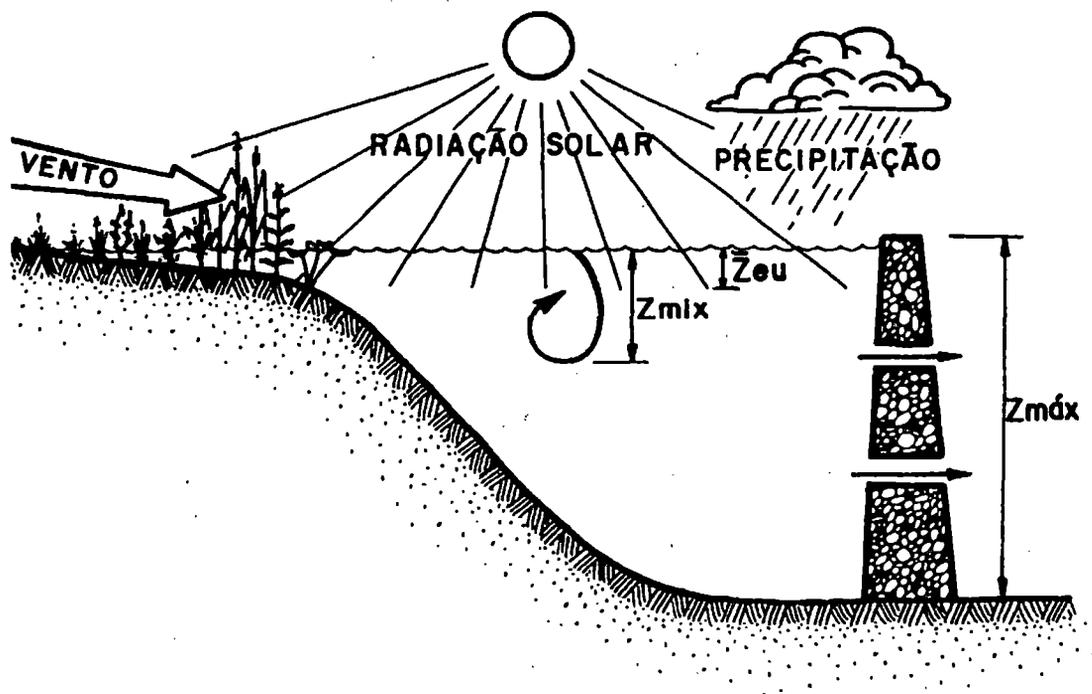
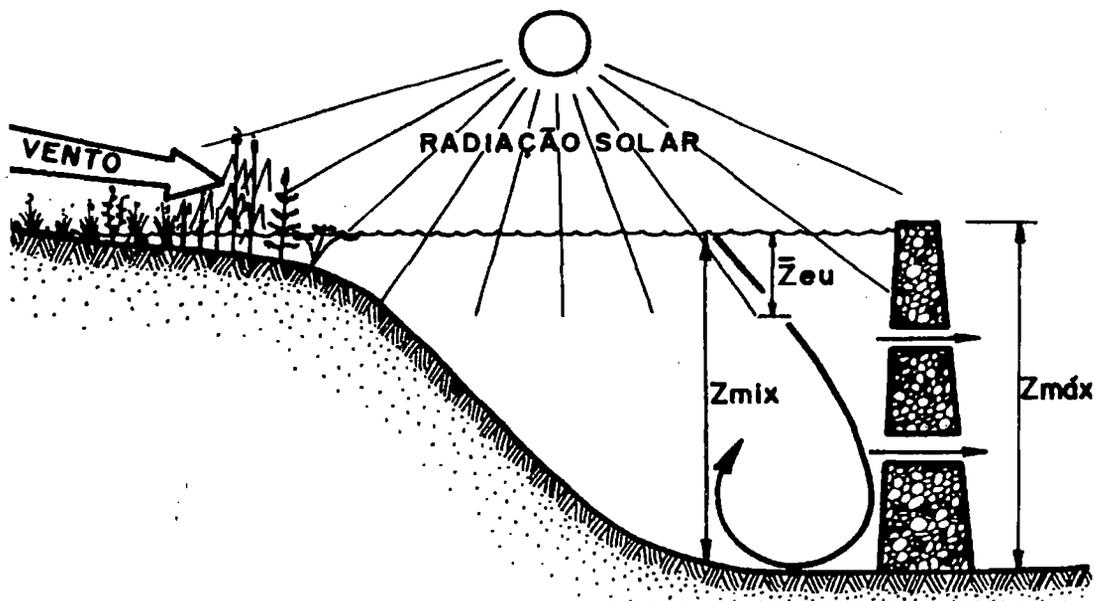
(A) REPRESA DE BARRA BONITA NO VERÃO : PERÍODO CHUVOSO**(B) REPRESA DE BARRA BONITA NO INVERNO: PERÍODO SECO**

FIGURA 78 - Representação da atenuação vertical da luz e da circulação da massa de água na represa de Barra Bonita no verão (A) e no inverno (B) (modificado de CALIJURI & TUNDISI, 1991).

- iv. Para a represa do Lobo, no inverno (período seco), a profundidade da zona de mistura foi praticamente a mesma que a profundidade da zona eufótica (Figura 79), havendo distribuição e circulação tanto de organismos como de nutrientes e de material particulado e dissolvido por toda a zona eufótica.

REPRESA DO LOBO NO INVERNO

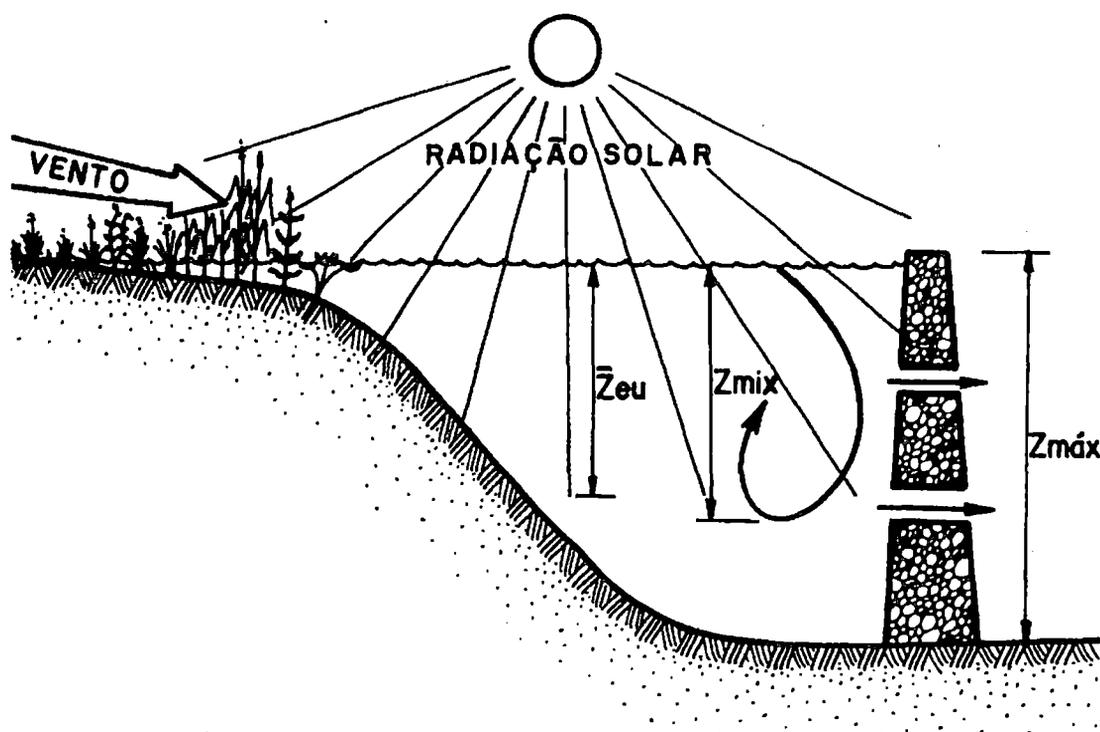


FIGURA 79 - Representação da atenuação vertical da luz e da circulação da massa de água na represa do Lobo no inverno (modificado de CALIJURI & TUNDISI, 1991)

No verão (período chuvoso), neste reservatório, ocorreu uma variação diurna na relação \bar{Z}_{eu}/Z_{mix} com estratificações e valores variados para a profundidade da zona de mistura nos horários de observação (Tabela 47). Com isto, às 09:00h a produção primária pode estar limitada pela radiação solar subaquática, e nos dois horários seguintes, pela zona de mistura.

6 DISCUSSÃO

6.1 Considerações Gerais

A intensidade da radiação solar em um ecossistema aquático varia no espaço e no tempo. As características do clima de radiação solar subaquática são determinadas, evidentemente, pela incidência na superfície, absorção pela água e por partículas em suspensão: orgânicas (mortas ou vivas) e inorgânicas, e espalhamento.

A distribuição vertical da radiação solar nos ecossistemas aquáticos, depende, portanto, de vários fatores, nos quais as interrelações entre as ações nas bacias hidrográficas e a qualidade da radiação solar subaquática são fundamentais.

Fatores intrínsecos ao funcionamento do ecossistema aquático também são importantes: circulação horizontal e vertical, concentração de organismos, distribuição vertical do fitoplâncton e zooplâncton.

Estas interações foram pesquisadas neste trabalho com a finalidade de determinar, não só a composição qualitativa da radiação solar subaquática, mas os fatores que a determinam.

6.2 O Clima da Radiação Solar Subaquática

A radiação solar, tanto direta como indireta, que incide sobre

uma superfície de água, não a penetra totalmente, devido a mecanismos de absorção e de espalhamento que compõem a atenuação desta radiação ao longo da coluna d'água.

A absorção da luz ocorrida em águas naturais é atribuída a quatro componentes do ecossistema aquático: a água propriamente, substâncias dissolvidas, material particulado (partes orgânica e inorgânica) e biota fotossintética (KIRK, 1983).

O espalhamento, ou "scattering", ocorre dentro da água quando o feixe de luz incidente tem sua trajetória desviada, por colisão do mesmo com partículas e detritos existentes na água, de modo a aumentar a trajetória que os fótons devem atravessar passando através de uma dada profundidade, aumentando assim, a probabilidade de serem absorvidos (KIRK, 1980).

Feitas estas considerações, é de grande relevância o estudo da penetração da radiação solar no sistema aquático, visando dois aspectos: os gradientes vertical e horizontal.

Para TUNDISI (1976), o gradiente vertical descreve tanto o deslocamento qualitativo do espectro de radiação, com a diminuição da intensidade luminosa com a profundidade, quanto uma alteração em sua composição espectral.

O gradiente horizontal, segundo o mesmo autor, refere-se à turbidez da massa de água que está relacionada com o material em suspensão e estratificação do fitoplâncton nela contida.

Ao penetrar um corpo d'água, a radiação solar vai reduzindo em certos comprimentos de onda, os quais o meio aquático absorve diferencialmente, ocorrendo penetração maior ou menor para determinados comprimentos de onda. Esta diferenciação caracteriza a qualidade espectral da água e as condições

fólicas do ecossistema aquático, e portanto, o clima de radiação local e da transmissão da água.

6.3 Comparações Metodológicas

Segundo WETZEL & LIKENS (1991), a transparência do Disco de Secchi é função da reflexão da luz a partir da superfície do disco e portanto afetada pelas características de absorção da água e do material dissolvido e particulado nela contida. Ocorre no corpo d'água diminuição na transparência da água, de modo não linear, devido a altas concentrações de matéria orgânica dissolvida, e uma redução na transmissão da luz em decorrência de espalhamento por material particulado em suspensão.

Para que se possa avaliar as mudanças ocorridas nas medidas obtidas para ZDS é importante salientar os fatores que afetam diretamente nas leituras efetuadas: quantidade de material atenuante, estado óptico da superfície da água, luminância refletida pelo céu, reflectância do corpo d'água, reflectância do disco, diâmetro do disco, altitude do sol, altura do observador sobre a superfície da água, adaptação da luminância e sombreamento, de acordo com SADÉN & HÅKANSSON (1996). Para estes autores, o primeiro item apresenta influência preponderante sobre os demais na leitura de ZDS.

Serão discutidas adiante, a influência da quantidade de material atenuante (material particulado e dissolvido no corpo d'água) e a turbulência da água pelas ações dos ventos locais.

Os outros fatores mencionados, são possíveis fontes de erro nas leituras efetuadas, que presentemente não se incluirão nas análises a cerca dos valores obtidos, e sim as variáveis relacionadas com a penetração da luz solar

subaquática medidos com os instrumentos utilizados.

Um desses instrumentos, o fotômetro subaquático, denominado hidrofotômetro, contém fotocélulas que respondem à presença de luz com comprimentos de onda entre aproximadamente 300 nm e 750 nm. Este aparelho (sistema 2π), responde grandemente para luz incidente de cima para baixo no ambiente aquático (tanto devido a processos de absorção como de espalhamento), onde pouca ou nenhuma luz espalhada lateralmente, como aquela utilizada por organismos, é medida.

Para uma avaliação da distribuição espectral da luz subaquática, foram posicionados sobre suas fotocélulas, filtros com uma faixa espectral estreita e específica para determinados comprimentos de onda, caracterizados pelas cores azul, verde e vermelho.

O hidrofotômetro utilizado foi calibrado em forma de corrente elétrica, cuja unidade de medida é μA .

Outro instrumento, de modelo esférico (sistema 4π), com material difuso permitindo uma medida mais realística, da energia radiante fornecendo uma estimativa tanto da radiação incidente (por absorção e espalhamento), como a refletida e espalhada em todas as direções, inclusive de baixo para cima, das camadas do corpo d'água.

Este tipo de fotômetro, tem sensores quânticos que permitem a medida da Radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) dentro da faixa do visível: 400 nm a 700 nm. A leitura deste instrumento, denominado Quanta-meter LI-COR, fornece dados diretamente em $\mu\text{Einsteins.m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

A Figura 80, mostra a curva de resposta do sensor de irradiância fotossintética, com medida da radiação fotossinteticamente ativa em todas as direções no corpo d'água.

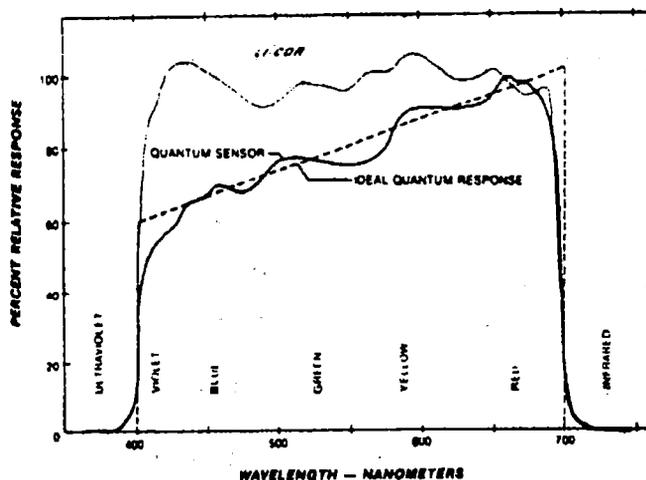


FIGURA 80 - Resposta típica do sensor quântico do Quanta-meter LI-COR, em relação ao comprimento de onda e a resposta ideal (Dados do manual do aparelho Quanta-meter LI-COR, Brochure RS2-279)

O regime da radiação solar subaquática estudado nos três ambientes aquáticos (uma estação na represa de Barra Bonita e duas na represa do Lobo), pode ser discutido através dos dados obtidos em consonância com as observações feitas quanto aos equipamentos utilizados.

Os valores obtidos para **Zeü** (profundidade da zona eufótica), em todas as estações de estudo, utilizando o disco de Secchi e a profundidade determinada como sendo aquela onde a intensidade luminosa corresponde a 1% da que atinge a superfície (através do Hidrofotômetro), foram bem aproximados, levando-se em consideração a simplicidade do primeiro.

No inverno, a diferença entre as medidas foi mais acentuada, possivelmente devido a ocorrência de vento nesta época do ano, provocando turbulência, dificultando a determinação da profundidade da zona eufótica com a utilização do disco de Secchi. A alteração na elevação angular da radiação solar entre uma época e outra, pode também ter influência na ocorrência desta diferenciação.

As características ópticas da água de cada estação de estudo, fornece

subsídios comparativos quanto a penetração da luz na coluna d'água, em cada estação do ano (Tabelas 13 a 16).

No reservatório de Barra Bonita, a relação Z_{eu}/Z_{DS} foi maior no período de verão do que no inverno. Este dado pode ser um indicativo de que os valores obtidos para Z_{DS} no inverno podem estar superestimados devido a turbulência da água pela ação dos ventos (Figura 67), aumentando o scattering (espalhamento) dentro da coluna d'água, dificultando a determinação de Z_{DS} , podendo ainda haver contribuição da modificação da elevação angular da radiação solar.

Nesta estação de estudo, $(Z_{DS} \times K_t)$ teve valores maiores no inverno comparativamente aos do verão, com diminuição de K_t no inverno, o que ocasiona maior penetração de luz e um conseqüente aumento de Z_{DS} nesta época.

Os dados das Tabelas 7 e 8, indicam que o coeficiente de atenuação total da luz foi maior no verão, provavelmente em decorrência da entrada de material terrígeno devido ao período de alta precipitação pluvial, cujas contribuições de K_x (material em suspensão) e de K_c (clorofila) foram preponderantes. Ocorreu aumento na turbidez da água, nesta época do ano (Tabelas 17 a 19), como conseqüência da entrada de material no corpo d'água, constituindo a turbidez outro fator atenuante da penetração de luz. No inverno, houve aumento de K_w , com relação ao verão, contribuindo para a atenuação da luz subaquática, possivelmente devido a compostos dissolvidos. A parcela maior foi relativa a K_x , seguida por K_c , embora com valores menores que os obtidos no verão.

Na represa do Lobo, Ponto A, os valores obtidos para a relação Z_{eu}/Z_{DS} foram relativamente semelhantes no inverno e no verão, ocorrendo um aumento no horário das 09:00h no inverno, o que pode indicar um valor subestimado para Z_{DS} , possivelmente em decorrência de turbulência, devido a ação de ventos neste horário (Figura 69), dificultando a determinação da profundidade da zona eufótica com a utilização do disco de Secchi.

O coeficiente de atenuação total da luz, K_t , no verão foi maior que no

inverno, devido a entrada de material particulado no período chuvoso, analogamente ao caso da estação de estudo de Barra Bonita, onde os componentes K_x e K_c (devido a material em suspensão e clorofila, respectivamente) tiveram contribuição maior nesta época do ano. Esta contribuição permanece no inverno, com aumento de K_w , indicando a influência dos compostos dissolvidos na atenuação da luz subaquática para o inverno.

Os valores de $(ZDS \times K_t)$, neste reservatório, não mostraram variação apreciável para as duas estações do ano, contudo, observa-se um aumento destes valores à medida em que aumenta a profundidade do reservatório e a hora do dia. Como K_t é menor no inverno, ocorrendo maior penetração de luz na coluna d'água, tem-se um aumento em ZDS , com relação ao verão, porém com a presença de turbulência e alteração na elevação angular da radiação solar, este valor pode ser superestimado.

A estação de estudo, correspondente ao Ponto B da represa do Lobo, localiza-se numa região rasa do reservatório, de modo que toda a coluna d'água recebe a radiação solar, que atenua à medida que aumenta a sua profundidade. O K_t é maior no verão que no inverno, sendo que este apresenta valores maiores no último horário de observação em ambos os períodos do ano.

A mudança na transparência da água está relacionada com simples fatores como material orgânico dissolvido e coloidal que influencia na cor (absorção) e material particulado inorgânico e fitoplâncton que influencia na turbidez (espalhamento) dos corpos d'água.

A relação obtida para $ZDS \times K_t$ serve para indexação do sistema de carreamento por turbidez devido a material particulado, ou, por cor devido a compostos dissolvidos (KOENINGS & EDMUNDSON, 1991).

Na represa de Barra Bonita esta relação apresentou valores menores no verão, com diminuição de ZDS e aumento de K_t , possivelmente devido ao aumento de partículas suspensas. Segundo KIRK (1983), com o aumento do nível de partículas, o espalhamento da luz no corpo d'água ocorre mais intensamente

que a absorção desta.

A componente K_w foi maior no inverno, em ambos os reservatórios, sendo um indicativo de sua parcela de contribuição na atenuação da luz subaquática, mais especificamente do processo de absorção.

Em estudos do regime de luz em 58 lagos do Alasca, KOENINGS & EDMUNDSON (1991), estudaram as relações $Z_{DS} \times K_t$ e Z_{eu}/Z_{DS} , e os parâmetros: turbidez, cor e concentração de clorofila, obtendo uma classificação da água em: claras, coloridas e turvas, como ilustra a Tabela 48. Eles concluíram que estas relações são fortemente dependentes das componentes absorvedoras de luz (material em suspensão e compostos dissolvidos) do meio aquático; e que as respostas dos instrumentos de medida, expressas pelas relações $Z_{DS} \times K_t$ e Z_{eu}/Z_{DS} tem uso diagnóstico, devido aumentar a turbidez para menores valores de $Z_{DS} \times K_t$, como observado nos estudos aqui desenvolvidos.

TABELA 48 - Águas classificadas em claras, coloridas e turvas em 58 lagos do Alasca, apresentando faixa de valores para turbidez, cor e concentração de clorofila como também para os parâmetros da qualidade da água e das características ópticas. (KOENINGS & EDMUNDSON, 1991)

Fatores	Águas Claras	Águas Coloridas	Águas Turvas
Parâmetros da qualidade da água			
Turbidez (NTU)	0,2 - 2,0	0,3 - 3,0	0,8 - 49,0
Cor (Pt)	2,3 - 16,4	9,9 - 41,4	2,5 - 12,8
Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	0,2 - 5,6	0,4 - 3,7	0,1 - 1,3
Características ópticas			
Z_{DS} (m)	2,3 - 14,7	2,2 - 7,1	0,2 - 3,9
K_t (m^{-1})	0,16 - 0,63	0,41 - 1,7	0,26 - 4,27
Z_{eu} (m)	7,4 - 27,9	2,7 - 11,5	1,1 - 17,8
$Z_{DS} \times K_t$	1,13 - 3,26	1,81 - 3,83	0,52 - 1,77
Z_{eu}/Z_{DS}	1,3 - 3,9	1,15 - 2,45	2,61 - 8,67

A medida da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) foi efetuada com a utilização do Quanta-meter, cujos valores obtidos para toda a coluna d'água de cada reservatório apresentou uma diminuição exponencial com o aumento da profundidade. Comportamento análogo se obteve ao medir a intensidade luminosa em cada ambiente aquático pela coluna d'água, utilizando-se para tal o hidrofotômetro.

Por meio destes dados, pôde-se obter informações da qualidade e disponibilidade da radiação solar subaquática nas estações de estudo. Dois pontos básicos a serem enfocados são o ponto de compensação e a mudança na composição espectral na coluna d'água.

A intensidade luminosa que permite fotossíntese suficiente para compensar a respiração do fitoplâncton, geralmente é 1% daquela que penetra na superfície da água. A essa intensidade luminosa corresponde o ponto de compensação. Abaixo dessa profundidade pode ocorrer fotossíntese, mas não há produção efetiva (STEEMANN-NIESEN & JENSEN, 1957, QASIM, et al., 1968).

As Figuras 48 a 65 mostram os perfis da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A) em escala logarítmica, genericamente obtendo-se curvas aproximadamente lineares, indicando que a radiação atingindo a coluna d'água está confinada em torno de uma mesma faixa espectral. Como a radiação solar que penetra em um corpo d'água, vai reduzindo em determinados comprimentos de onda, os quais o meio aquático absorve mais fraca ou fortemente, a linearidade de tais curvas, pode apresentar, em determinadas profundidades, alteração na sua inclinação devido a alteração espectral subaquática (KIRK, 1983).

As figuras citadas acima mostram que em todas as estações de estudo, tanto no verão como no inverno, a curva para $\ln(R.F.A)$, apresentou certa linearidade, com as ocasionais alterações na inclinação de tais curvas, devido a mudanças espectrais da radiação subaquática. As faixas espectrais em que ocorre maior ou menor atenuação serão discutidas detalhadamente mais adiante.

Para a represa de Barra Bonita e para a represa do Lobo, Ponto A, no verão e no inverno, verificou-se que a profundidade atingida pela R.F.A. apresentou valores maiores que aqueles correspondentes às respectivas profundidades da zona eufótica, principalmente nos horários das 09:00h e 15:00h. Para o horário das 12:00h, os valores encontrados para ambos os casos são considerados muito próximos. Este fato, pode estar relacionado com a posição do sol, neste horário do dia (12:00h).

Na profundidade compreendida entre aquela atingida pela R.F.A. e abaixo da zona eufótica, possivelmente está localizado o ponto de compensação, ocorrendo a respiração do fitoplâncton ou fotossíntese sem produção efetiva.

Na represa do Lobo, Ponto B, a coluna d'água foi praticamente toda iluminada, considerando-se em termos percentuais a R.F.A. e a penetração de luz na coluna d'água. No verão, o percentual maior foi o da R.F.A., ocorrendo grande atenuação da luz subaquática, possivelmente devido a presença de macrófitas na região ou provavelmente pela entrada de material em decorrência da época das águas. No inverno, a penetração de luz foi maior comparativamente ao do verão, com a ocorrência de percentual menor para a R.F.A., possivelmente por aumentar absorção pelos compostos dissolvidos uma vez que K_w apresentou valores maiores que no verão.

Os dados obtidos com a utilização destes instrumentos de medida, forneceram informações, de grande valia, acerca do clima óptico de cada estação de estudo. O hidrofotômetro, apresenta a limitação de ser constituído por um sistema que permite a avaliação da luz subaquática somente na vertical (de cima para baixo), denominado sistema 2π , mas por outro lado, torna possível a avaliação da variação espectral na coluna d'água.

O Quanta-meter, é um fotômetro mais recente que possui um sensor quântico que permite avaliar a radiação subaquática em todas as direções (sistema 4π), considerando assim a parcela referente a espalhamentos decorrentes de partículas abaixo do ponto em estudo, fornecendo uma medida mais realística



para a radiação solar subaquática.

O disco de Secchi também utilizado, embora simples e de baixo custo, também fornece informações sobre o regime óptico em que se encontra o ambiente em estudo.

Assim, combinando-se o uso de tais instrumentos, pôde-se obter informações qualitativas e quantitativas sobre a penetração da luz subaquática nos ambientes de estudo.

6.4 Regime de Luz: Estudo Comparativo nas Represas de Barra Bonita e do Lobo

O estudo da penetração da luz solar em ambientes aquáticos, tem sido motivo de interesse e investigação em limnologia. A variação espacial na presente pesquisa não apresenta grande relevância dada a posição geográfica dos reservatórios em estudo, a saber: Represa de Barra Bonita (Latitude 22°29'S e Longitude 048°34'W) e Represa do Lobo (Latitude 22°15'S e Longitude 047°49'W).

Na Represa de Barra Bonita, as mudanças sazonais apresentam diferenças mais nítidas entre o verão, apresentando maior precipitação, e o inverno, caracterizado por um período seco com chuvas escassas ou ausentes. Para a Represa do Lobo, o clima é controlado pelas massas de ar equatorial e tropical, com inverno (junho/setembro) e verão (novembro a março/abril) com as mesmas características acima. Desta maneira, pode-se considerar que os fatores climatológicos em questão serão muito similares entre as estações de estudo.

O estabelecimento da comparação entre ambos reservatórios é de grande interesse para o estudo da disponibilidade e qualidade da radiação solar subaquática nesses ambientes, a qual é dada por CALIJURI & TUNDISI (1990) transcrita a seguir.

“O Reservatório do Lobo, tropical raso, oligomesotrófico, está inserido em área de proteção ambiental com solos que são caracterizados por alta deficiência de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio. Alterações ambientais detectadas na represa devido a atividade humana são: desflorestamento, despejos domésticos e fertilizantes utilizados em algumas áreas agrícolas. O tempo médio de residência da água é de aproximadamente 20 dias. O reservatório é polimítico devido a ação dos ventos na direção do eixo principal (sul para norte) produzindo turbulência durante todo o ano.

O Reservatório de Barra Bonita é um ecossistema polimítico, com uma profundidade moderada, eutrófico, com flutuações de volume e tempo de retenção que caracterizam regimes de funcionamento ecológico diversificado durante o ciclo sazonal. Nesse reservatório, a eutrofização cultural é resultante do aporte de despejos domésticos, industriais e de fertilizantes químicos empregados nas culturas distribuídas por toda a bacia hidrográfica.”

Com as características fundamentais dos dois reservatórios colocadas sistematicamente, os fatores condicionantes para a atenuação da luz subaquática podem ser determinados, contribuindo para a compreensão do estudo da penetração da luz nos mesmos.

6.4.1 Relação $\bar{Z}_{eu}/Z_{máx}$.

Na represa de Barra Bonita, a profundidade da zona eufótica foi reduzida, sendo esta com valor de aproximadamente 10% de sua profundidade máxima (na estação de estudo), no verão, e aproximadamente 25%, no inverno. A baixa transparência da água deste reservatório está relacionada possivelmente com a entrada de material no período chuvoso, incluindo resíduos provenientes da monocultura da cana-de-açúcar distribuída por toda a bacia hidrográfica.

No verão, os dias são nublados, podendo ocorrer redução da luz disponível no ambiente aquático, e devido a ocorrência de chuvas frequentes

nesta época do ano, a penetração de luz é fortemente influenciada por valores altos de turbidez, principalmente nos dois primeiros metros do corpo d'água, devido carreamento de material particulado e dissolvido no sistema. No inverno, os dias se apresentam claros, com céu aberto, e a zona eufótica apresentou profundidade maior que aquela do verão, embora represente pequena parcela em relação à profundidade máxima do reservatório (25%). A penetração da luz solar é atenuada possivelmente devido a compostos dissolvidos na água, tempo de retenção maior, ação de ventos nesta época do ano, ocorrendo turbulência da água, com ressuspensão de material do sedimento.

A represa do Lobo, nas duas estações de estudo (Ponto A e Ponto B), apresentou, a penetração de luz no ambiente aquático em maior proporção comparada com a da represa de Barra Bonita nas duas épocas do ano: verão e inverno.

Para a estação de estudo situada no ponto A (com profundidade de aproximadamente 6,0 m), a profundidade da zona eufótica apresentou cerca de 50% da profundidade máxima do reservatório (no ponto de estudo) no verão, e aproximadamente 63%, no inverno. O decréscimo da profundidade da zona eufótica no verão, pode estar relacionado com a entrada de material devido às chuvas ocorrentes nesta época do ano, com ligeiro aumento na turbidez da água no primeiro metro do reservatório. No inverno, a penetração de luz foi maior, com a ocorrência de dias mais claros, mas com a existência de ventos produzindo turbulência na água e a conseqüente mistura de material existente na coluna d'água, apresentando valores ligeiramente menores para turbidez comparativamente com os do verão no primeiro metro de profundidade, sem diferenciação apreciável na turbidez para as demais profundidades nas duas estações do ano.

A outra estação de estudo da represa do Lobo, o Ponto B (com profundidade de aproximadamente 1,50 m), apresentou penetração de luz por toda a coluna d'água, havendo atenuação da mesma de modo diferenciado

no verão e no inverno devido aos mecanismos de absorção e espalhamento. A parcela de contribuição de material particulado e dissolvido para a atenuação da luz solar subaquática, nesta estação de estudo, em cada estação do ano será discutida posteriormente. A luz disponível para o sistema aquático foi reduzida no verão, principalmente a partir das 12:00h, possivelmente em decorrência da existência de nuvens encobrindo o Sol, com chuvas no local de estudo.

6.4.2 Contribuição dos componentes da atenuação da luz no sistema aquático e sua conseqüente distribuição espectral na coluna d'água

Quando a luz solar penetra em um corpo d'água, sua intensidade é reduzida e sua qualidade espectral é alterada como resultado da absorção por vários componentes do meio aquático. A atenuação da luz com a profundidade é acentuada pela presença de espalhamento devido a presença de material particulado dentro da água; o papel do espalhamento é alterar o percurso do feixe de luz incidente através de uma dada profundidade, aumentando a probabilidade de posterior absorção (KIRK, 1980).

Para o entendimento da atenuação da luz nestes ambientes aquáticos, foi necessário conhecer quais componentes do meio a absorvem, e que contribuição cada um deles fornece para todo o processo de absorção.

A penetração da luz nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo, com a decorrente contribuição de cada componente será discutida a seguir, considerando que a contribuição dos compostos dissolvidos na água estão inseridos implicitamente na contribuição da água propriamente dita (K_w).

Os valores encontrados para o coeficiente de atenuação total da luz, K_t , na represa de Barra Bonita foram maiores no verão, ocorrendo portanto menor penetração da luz. As contribuições maiores, nesta época do ano foram devido ao material particulado e clorofila total, com predominância desta última no primeiro metro de profundidade às 12:00h. Nos horários observados,

a concentração de matéria inorgânica foi praticamente inalterada (aproximadamente 5mg/L) enquanto que as concentrações de matéria orgânica e de clorofila total são maiores na região da zona eufótica, decrescendo acentuadamente com a profundidade na zona afótica (Figuras 12, 14 e 16).

Durante o dia de observação, as Figuras 13, 15 e 17 mostram que a luz correspondente a faixa espectral do vermelho foi a menos disponível para o ambiente aquático desde a superfície, e as faixas espectrais do azul e do verde foram atenuadas de modo semelhante já no primeiro metro da coluna d'água, onde o azul apresentou maior atenuação.

O perfil da radiação fotossinteticamente ativa (em escala logarítmica), nesta época, apresentou-se praticamente linear nos horários de observação, com alteração na inclinação da curva (Figuras 48 a 50) próximo à superfície às 12:00h e na zona afótica às 15:00h

A atenuação na faixa espectral do azul, ocorreu mais acentuadamente considerando-se toda a zona eufótica.

No inverno, o K_t apresentou valores menores comparados com os do verão, aumentando assim a profundidade da zona eufótica. As parcelas que contribuem acentuadamente para a atenuação da luz subaquática são devidas ao material em suspensão, clorofila e possivelmente compostos dissolvidos em decorrência do aumento de K_w nesta época do ano. Alguns dos fatores que podem influenciar nestas condições estão relacionados tanto com a ação de ventos que provocam circulação da massa de água e turbulência, como também com o elevado tempo de retenção da água.

As concentrações de material em suspensão e de clorofila, não sofreram variações consideráveis na zona eufótica, havendo valores ligeiramente maiores para a concentração de matéria orgânica.

As faixas espectrais que apresentaram maior atenuação foram a do verde e a do azul muito semelhantemente entre as profundidades 1,0 m e 3,0 m, possivelmente relacionado com material em suspensão e compostos dissolvidos,

respectivamente. Contudo, na faixa do vermelho houve menor quantidade de luz disponível desde a superfície do reservatório.

A alteração da inclinação da curva apresentada no perfil da radiação fotossinteticamente ativa (Figuras 51 a 53), principalmente próximo à superfície do reservatório às 09:00h e 15:00h, caracterizam as variações na qualidade espectral da luz subaquática.

Na represa do Lobo, Ponto A, os valores obtidos para K_t foram maiores no verão, sendo a profundidade da zona eufótica menor nesta época do ano. As parcelas de maior contribuição para a atenuação da luz neste ecossistema aquático foram devidas a de clorofila e mais acentuadamente do material em suspensão, mais propriamente dita de matéria orgânica. Durante os horários de observação a concentração de clorofila manteve um valor aproximado de $9\mu\text{g/L}$, sem variações apreciáveis na coluna d'água (Figuras 24, 26 e 28).

A atenuação da luz no meio aquático se deu mais fortemente na faixa do azul, nos dois primeiros metros de profundidade do reservatório, possivelmente relacionado com compostos orgânicos dissolvidos, seguido pelo verde, embora a faixa do vermelho tenha se apresentado menos disponível nas proximidades da superfície (Figuras 25, 27 e 29). As Figuras 54 a 56 mostram o perfil da radiação fotossinteticamente ativa na coluna d'água com aproximada linearidade na curva de $\ln(\text{R.F.A.})$, nos horários das 09:00h e 15:00h e eventuais modificações em sua inclinação, devido a variação espectral da luz subaquática, principalmente na zona afótica.

Nesta mesma estação de estudo, no inverno, o K_t foi menor que no verão, com maior penetração de luz na coluna d'água nesta época do ano. As parcelas mais preponderantes na atenuação da luz são correspondentes ao material em suspensão e clorofila, apresentando aumento de K_w em relação ao verão. Quanto ao material em suspensão, a concentração de material orgânica prevalece sobre a inorgânica.

As variações das concentrações de material em suspensão (matérias

*pelos gráficos é possível
verificar o fluxo de ventos
através da*

orgânica e inorgânica) e de clorofila total apresentadas nas Figuras 30, 32 e 34, podem ser decorrentes da turbulência na coluna d'água pela ação de ventos na região, promovendo grande mistura de material contido na água.

homogeneidade

Às 09:00h e às 12:00h a luz menos disponível para este ambiente aquático, se concentrou na faixa espectral do vermelho, e na faixa do verde às 15:00h. Considerando-se os três horários de observação, a faixa espectral do azul foi a mais atenuada, seguida pelo verde e vermelho às 09:00h e às 12:00h, e uma inversão entre o verde e o vermelho às 15:00h.

explicar

Esta variação espectral subaquática foi verificada no perfil da radiação fotossinteticamente ativa (Figuras 57 a 59), principalmente às 9:00h, apresentando em 0,50 m da coluna d'água atenuação acentuada não apenas na faixa espectral do azul como também do verde (Figura 31).

No verão e no inverno, os valores de K_t aumentam com o aumento da profundidade do reservatório e com a hora do dia (Tabelas 7 a 12), para as três estações de estudo, durante o período de observação. Uma ligeira diminuição em seus valores é observado às 12:00h, possivelmente devido a posição do sol neste horário.

No Ponto B da represa do Lobo, os valores de K_t são maiores no verão do que no inverno, nos horários das 12:00h e 15:00h, de modo que o percentual de intensidade luminosa que penetra a coluna d'água nestes horários é menor que no inverno. A contribuição mais relevante para a atenuação da luz subaquática, no verão foi dada pelo material em suspensão, com predominância da matéria orgânica. A concentração de clorofila total apresenta variações na coluna d'água nos três horários de observação.

Ocorreu variação da qualidade espectral da luz subaquática em cada horário observado. Nos dois primeiros horários observados, a faixa espectral do azul foi mais fortemente atenuada, enquanto que às 15:00h foi a do verde, pelo menos até 0,25 m de profundidade, neste horário.

O perfil da radiação fotossinteticamente ativa (Figuras 60 a 62)

apresentou durante o período de observação, linearidade para a curva $\ln(R.F.A.)$, e, às 09:00h a alteração na inclinação desta curva, provavelmente foi devido a alteração espectral da luz subaquática, que apresentou maior atenuação na faixa espectral do azul até 0,25 m da coluna d'água, e a partir da qual atenuação semelhante nas faixas do azul e do verde (Figura 37).

Nesta estação de estudo, às 09:00h, os valores de K_t foram maiores no inverno, comparados com os obtidos no verão, diferindo do comportamento ocorrido nas duas estações de estudo anteriores, possivelmente devido a influência da ação dos ventos, que no dia de coleta em campo, atingiu o valor médio de 3,13 m/s e às 09:00h seu valor foi de 4,3 m/s (segundo estação meteorológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada - USP - Tabelas 40 e 38 respectivamente), que contribuiu para o aumento da turbulência da coluna d'água, ocasionando ressuspensão de material do sedimento, aumentando assim a turbidez da água (Figura 71 e Tabela 32). Estes fatores atuam como grandes atenuantes da radiação solar subaquática, obtendo-se assim o valor alto para K_t .

Além das componentes da atenuação, o fator climatológico interferiu sobremaneira na penetração da luz subaquática. Neste horário em questão, a contribuição do material em suspensão foi relevante, principalmente de matéria orgânica (Figura 42) embora em menor escala que no verão (onde há a ocorrência de chuvas). Ocorreu aumento na contribuição da clorofila total e de substâncias dissolvidas, provavelmente devido a decomposição de macrófitas existentes nesta estação de estudo.

Neste horário (09:00h), a atenuação da luz ocorreu mais acentuadamente na faixa espectral do azul, seguida pelo verde, possivelmente devido aos compostos dissolvidos e material em suspensão respectivamente (Figura 43).

Nos horários das 12:00h e das 15:00h, para o inverno, o valor de K_t foi menor que no verão, e portanto o percentual de intensidade luminosa que penetra a coluna d'água nestes horários é maior que no verão. Fazendo-se a

observação que no horário das 09:00h, em que ocorreu uma situação adversa, o percentual da intensidade luminosa foi praticamente o mesmo no verão e no inverno.

Às 12:00h e 15:00h, a contribuição para a atenuação da luz nesta estação de estudo foi principalmente devido ao material em suspensão, tanto de matéria orgânica como de inorgânica, provavelmente em decorrência da ação dos ventos, ocasionando turbidez da água. Tanto K_c como K_w , apresentaram valores maiores no inverno, comparados com os do verão, possivelmente em decorrência da existência de macrófitas no local, como foi mencionado. A atenuação da luz ocorreu mais fortemente na faixa espectral do azul.

O perfil da radiação fotossinteticamente ativa (Figuras 63 a 65) apresentou curvas praticamente lineares com mudanças nas inclinações das mesmas mediante alteração espectral subaquática, observada às 09:00h e às 12:00h.

Existem vários trabalhos, na literatura, sobre a penetração de luz subaquática, cujos dados obtidos para alguns deles estão ilustrados nas tabelas abaixo.

TABELA 49 - Coeficiente de atenuação vertical da radiação fotossinteticamente ativa em águas interiores. A R.F.A. foi medida com quanta-meter LI-COR (KIRK, 1977)

Local	Data	Horário (h)	K_t (m^{-1})
Lago Burley Griffin	04/11/75	10:15	4,31
	19/11/75	12:10	2,50
	19/11/75	16:40	2,84
	28/11/75	10:10	2,72
	11/12/75	11:15	2,17
	28/01/76	10:15	1,80
Represa	07/11/75	11:35	3,17
Burrinjuck	12/03/76	11:50	1,15
Lago	13/11/75	09:20	3,54
Ginnindera	28/01/76	11:20	2,74
Lago George	13/11/75	11:35	25,0

TABELA 50 - Profundidade Secchi (ZDs), coeficiente de atenuação da irradiância descendente na faixa espectral de menor atenuação (Kd) e concentração média de clorofila *a*, nas regiões pelágicas ($z > 100\text{m}$) e nas regiões neríticas ($z < 100\text{m}$), em estações de estudo no sudeste do mar Mediterrâneo entre 1981 e 1984. (MEGARD & BERMAN, 1989)

Região	Data	Estação	ZDs (m)	Kd (m^{-1})	Clorofila ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)
$z > 100\text{m}$	07/81	1 - 5	37	0,047	0,032
		1 - 9	41	0,040	0,024
	12/81	2 - 1	27	0,075	0,104
		2 - 4	45	0,046	0,069
		2 - 6	45	0,044	0,053
		04/82	3 - 7	39	0,034
	07/82	4 - 1	27	0,069	0,052
		4 - 2	46	0,039	0,023
		4 - 4	41	0,039	0,029
		02/83	5 - 2	30	0,054
06/84	6 - 7	35	0,037	0,040	
$z < 100\text{m}$	07/81	1 - 3	12,5	0,112	0,093
		1 - 7	6,0	0,230	0,220
		1 - 10	15,0	0,080	0,133
	12/81	2 - 2	18,0	0,070	0,088
		2 - 8	21,0	0,073	0,118
	04/82	3 - 1	18,0	0,057	0,245
		3 - 5	23,0	0,058	0,079
	07/82	4 - 3	20,0	0,103	0,104
		4 - 5	18,5	0,092	0,107
		4 - 7	20,0	0,074	--
02/83	5 - 4	27,0	0,053	0,120	
06/84	6 - 13	13,0	0,066	0,090	

TABELA 51 - Características ópticas da água e parâmetros da qualidade da água dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo entre 1986 e 1987 (CALIJURI, 1988)

Local	Data	Zmáx.	Ze _u	Z _{DS}	Ze _u /Zmáx.	K _t	K _w	K _c	K _x	Material suspensão (mg.L ⁻¹)		Clorofila (µg.L ⁻¹)
		(m)	(m)	(m)	---	(m ⁻¹)	(m ⁻¹)	(m ⁻¹)	(m ⁻¹)	Matéria Orgânica	Matéria Inorgânica	
Represa do Lobo	Inverno/86	9,0	3,25	1,10	0,36	1,40	0,02	0,30	1,08	1,89	1,30	18,61
	Verão/87	9,0	2,75	1,15	0,31	1,26	0,06	0,20	1,0	0,68	0,60	12,31
Represa B. Bonita	Inverno/86	20,50	2,50	1,0	0,12	1,44	0,04	0,06	1,34	2,06	1,68	3,37
	Verão/87	21,0	1,0	0,5	0,05	4,54	0,06	0,20	4,28	4,87	5,43	12,97

TABELA 52 - Características ópticas da água para: lago D. Helvécio, lagoa Carioca e lagoa Amarela. (CALIJURI et al., 1989)

Local	Data	Zmáx. (m)	Ze _u (m)	Z _{DS} (m)	Ze _u /Zmáx. ---	K _t (m ⁻¹)	K _w (m ⁻¹)	K _c (m ⁻¹)	K _x (m ⁻¹)
lago D. Helvécio	11/85	30,0	13,50	4,50	0,45	0,359	0,019	0,053	0,287
	07/87	30,0	7,50	4,50	0,25	0,512	0,016	0,050	0,446
lagoa Carioca	11/85	10,0	2,25	1,40	0,23	2,202	0,035	0,033	1,836
	07/87	10,0	4,0	1,40	0,40	1,015	0,021	0,282	0,712
lagoa Amarela	11/85	2,40	2,40	1,20	1,0	0,373	0,086	0,247	0,040
	07/87	2,0	0,75	0,30	0,38	5,475	0,058	0,293	5,124

Os dados apresentados nas Tabelas 49, 50 e 52 ilustram a atenuação da luz solar subaquática em outros ambientes aquáticos, apresentando valores diferentes para o coeficiente de atenuação total, quando calculado para um mesmo ambiente aquático tanto em épocas distintas como em regiões diferentes do mesmo; ou ainda quando calculado para vários ecossistemas aquáticos. Estes dados reforçam a variação espacial e temporal da penetração da radiação solar em diversos sistemas aquáticos, o que também é evidenciado nos resultados encontrados neste estudo.

Neste estudo foi observado que a penetração da luz solar subaquática nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo foi maior no inverno, comportamento análogo ao obtido por CALIJURI (1988) em 1986 e 1987, como mostra a Tabela 51. Uma comparação entre os parâmetros desta tabela e as Tabelas 7, 8, 9 e 11 evidenciam a ocorrência de modificações do clima óptico desses sistemas. Tais mudanças podem estar relacionadas com fatores diversos como: condições hidrometeorológicas, atividades antrópicas diferenciadas, horários de observação e outros.

TABELA 53 - Concentrações médias sazonais de clorofila a e de material em suspensão, coeficiente de atenuação vertical (Kt) e profundidade Secchi (ZDS), nas regiões norte, centro, sul e oeste no Lago Okeechobee, Flórida (ALDRIDGE et al., 1995)

Fatores	Região	Inverno	Verão
clorofila a (mg.m^{-3})	Norte	16,0	41,0
	Centro	17,0	39,0
	Sul	42,0	6,0
	Oeste	48,0	33,0
Material em suspensão (g.m^{-3})	Norte	21,0	13,0
	Centro	41,0	19,0
	Sul	20,0	3,0
	Oeste	14,0	7,0
ZDS (m)	Norte	0,4	0,05
	Centro	0,9	0,5
	Sul	0,5	0,1
	Oeste	0,2	0,3
Kt (m^{-1})	Norte	4,5	3,0
	Centro	6,7	3,7
	Sul	3,6	1,0
	Oeste	3,2	2,0

Dado: Profundidade média do Lago Okeechobee: 3,0 m

Os dados da Tabela 53 fornecem o coeficiente de atenuação vertical, K_t , em diversas regiões do Lago Okeechobee, Flórida, no inverno e no verão, sendo possível analisar a época e a região em que ocorreu maior atenuação da luz subaquática. Com os dados de concentração de material em suspensão e de clorofila pode-se estimar a contribuição de cada componente da atenuação da luz, sem determinar K_x e K_c .

Desta forma, a aquisição de informações quanto a penetração de luz em sistemas aquáticos, podem gerar um conjunto de idéias que caracterizem o clima óptico estabelecido nas estações de estudo, sem contudo apresentar uma situação imutável.

6.4.3 O clima de radiação solar subaquática nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo

Para a comparação das estações de estudo quanto a penetração de luz, é importante salientar a diversidade nestes ecossistemas devido a influência de fatores climatológicos, hidrológicos e hidrodinâmicos, nos períodos de estudo, que determinam as características de turbulência, diferenças químicas e de circulação, composição das espécies e biomassa.

Os reservatórios de Barra Bonita e do Lobo são polimíticos devido a ação permanente de ventos, com profundidades moderada e pequena respectivamente, não desenvolvem estratificação térmica persistente (CALIJURI & TUNDISI, 1990). A ocorrência de turbulência, tornando a coluna d'água homogênea termicamente, é um parâmetro ecológico de relevância, tendo papel determinante na penetração da radiação fotossinteticamente ativa no meio aquático.

Segundo CALIJURI & TUNDISI (1990), na represa de Barra Bonita os ventos predominantes são o Leste e o Sudeste, com valores de velocidade mensais mais elevados nos meses de setembro, outubro e novembro. O reservatório apresenta variações diárias no padrão de circulação da água

devido a influências da radiação solar e ventos junto à superfície.

Para os mesmos autores (op. cit.), na represa do Lobo os mais freqüentes são os ventos Sul, que varrem a represa no sentido longitudinal e sendo este reservatório relativamente raso, ventos fortes são capazes de provocar homogeneização de toda a coluna d'água. Para TUNDISI (1977), o padrão de variação de velocidade do vento, neste ambiente, apresenta tendência sazonal aproximadamente constante em anos diferentes, atingindo em média maiores velocidades nos meses de setembro, outubro e novembro (CALIJURI, 1988).

Os efeitos dos ventos e precipitação afetam a penetração de luz neste reservatório, devido a circulação de massa de água com influxo de nutrientes e ressuspensão de partículas do sedimento, com a decorrente alteração na disponibilidade e qualidade da luz subaquática.

As ações dos ventos nestes reservatórios apresentam, portanto, grande relevância não somente no tocante à atenuação da radiação solar subaquática, como também a sua relação com a zona de mistura e suas implicações na produção primária dos mesmos.

Na represa de Barra Bonita, a produção primária pode estar limitada pela zona eufótica, uma vez que esta se apresentou menor que a zona de mistura, no verão e no inverno.

Para a represa do Lobo, Ponto A, no inverno, a zona eufótica e a zona de mistura foram praticamente coincidentes, de modo que o fitoplâncton circula por toda a zona eufótica com injeção de nutrientes devido a mistura da massa de água, induzida pela ação dos ventos. Para o verão, esta relação foi variável no decorrer do dia, proporcionando condições tais que em alguns horários a produção primária provavelmente foi limitada por luz (9:00h) e, em outros, possivelmente pela circulação da massa de água (12:00h e 15:00h).

Neste ponto, da represa do Lobo, cuja profundidade é de aproximadamente 6,0 m, ocorreu maior atenuação da luz subaquática no verão, apresentando céu encoberto e ocorrência de chuvas na região, acarretando a

entrada de material no corpo d'água, com redução da profundidade da zona eufótica comparativamente com a do inverno. A contribuição maior para a atenuação da luz subaquática foi devido ao material em suspensão, principalmente de matéria orgânica e em menor escala pela clorofila. A atenuação da luz subaquática ocorreu mais acentuadamente, na faixa espectral correspondente ao azul, e seguida pela faixa do verde, já no primeiro metro da coluna d'água, e a faixa espectral do vermelho foi a menos disponível para o ambiente aquático.

No inverno, a penetração de luz atinge profundidades maiores, e a atenuação da luz subaquática nesta época do ano foi devido ao material particulado, principalmente matéria orgânica, devido a ação dos ventos (mencionado acima), à clorofila e às substâncias dissolvidas. Ocorrendo atenuação da luz subaquática mais pronunciada nas faixas do azul e do verde nos primeiros metros da coluna d'água às 09:00h e às 12:00h, e para o horário das 15:00h nas faixas do azul e do vermelho.

A estação de estudo da represa do Lobo, Ponto B, tem aproximadamente 1,5 m de profundidade, e por isto a ação dos ventos tem papel relevante na disponibilidade e qualidade da luz solar subaquática. No verão, a atenuação da luz ocorre devido ao material em suspensão e clorofila. Nesta estação de estudo, estas contribuições são previstas, devido a ocorrência de chuvas e presença de macrófitas na região. Ocorrendo maior atenuação nas faixas do azul e do verde em horários diferentes.

No inverno, ocorreu atenuação da luz solar subaquática maior que no verão, no horário das 09:00h, devido a presença de ventos fortes, ocasionando grande turbulência na água, com a ressuspensão de material particulado do sedimento. Caracterizando esta atenuação pela contribuição de material em suspensão, clorofila e compostos dissolvidos, mais acentuadamente na faixa do azul.

KIRK (1980), calculou o percentual dos quanta fotossinteticamente

absorvidos devido ao material em suspensão, compostos dissolvidos e água em vários corpos d'água, como ilustra a Tabela 54.

TABELA 54 - Percentual dos quanta fotossinteticamente absorvidos entre frações particuladas, solúveis e água em vários ambientes aquáticos. (Em cada caso, foi considerado a zona eufótica do corpo d'água em questão) (KIRK, 1980)

Local	Data	Quantas absorvido (% do total)		
		água	fração solúvel*	fração particulada**
represa Corin	08/06/79	34,8	60,0	5,2
lago Ginninderra	06/06/79	39,1	50,4	10,5
represa Googong	21/06/79	22,0	60,4	6,0
represa Cotter	08/06/79	26,2	49,8	24,0
represa Burrinjuck	07/06/79	28,2	45,5	26,3
lago Burley Griffin	06/06/79	19,4	22,2	58,4
lago George	28/11/79	12,4	8,3	79,3

(*) Compostos dissolvidos

(**) Material em suspensão e clorofila

Os lagos Burley Griffin e George apresentaram contribuição para a atenuação da luz solar subaquática em maior proporção por fração particulada e os demais corpos d'água pela fração solúvel. Na represa do Lobo, no entanto, em ambos os pontos de estudo, de um modo geral, a contribuição de K_x (por material em suspensão) para esta atenuação tem caracter relevante no verão e no inverno; e, no Ponto B, a contribuição de K_c e K_w foi maior no inverno.

A ocorrência de turbulência e circulação na represa de Barra Bonita devido a ação de ventos, bem como a precipitação, são fatores de extrema importância na disponibilidade e qualidade da luz subaquática. Neste reservatório, a relação entre a profundidade da zona eufótica e a profundidade máxima, é muito pequena ocorrendo atenuação da luz muito fortemente já nos primeiros metros.

Segundo CALIJURI & TUNDISI (1990), a penetração de luz nesta estação de estudo, mantém-se muito limitada durante a maior parte do ano em decorrência do grande desenvolvimento de populações de Cyanobactéria junto à superfície e, em épocas de altas precipitações, devido a enorme quantidade de material em suspensão carregado pelos rios da bacia hidrográfica.

O reservatório de Barra Bonita se encontra numa região basáltica e de coberturas coluvionares, onde o principal material em suspensão nele lançado é constituído por argila e silte, que são sedimentos finos permanecendo por longo tempo no reservatório, há ainda a entrada de dejetos domésticos e resíduos oriundos da atividade agrícola em grande escala. No verão, apresentando alta precipitação, estes fatores constituem atenuantes para a penetração de luz na coluna d'água, com predominância de matéria inorgânica por toda a profundidade e de clorofila total na zona eufótica. A atenuação da luz solar subaquática foi maior nesta época do ano que no inverno.

A atenuação da luz subaquática ocorre mais acentuadamente, na faixa espectral do azul seguida pela faixa do verde em torno de 0,75 m da coluna d'água com atenuação semelhante. A faixa espectral do vermelho foi a menos disponível para este ambiente aquático a partir de sua superfície.

No inverno, a penetração da luz solar foi maior, cuja contribuição do material em suspensão foi dado tanto pela matéria orgânica como inorgânica, e a parcela da clorofila total, foi menor que no verão. Houve também contribuição de compostos dissolvidos na água. Possivelmente, a ação de ventos nesta época do ano (Figura 67) promoveu turbulência na água com ressuspensão de material particulado, enquanto que a contribuição de substâncias dissolvidas na água possa estar relacionada com o tempo de residência do reservatório.

Para esta época do ano, a atenuação da luz subaquática ocorreu mais

predominantemente nas faixas espectrais do azul e do verde já no primeiro metro, e de maneira muito semelhante para as três faixas espectrais após aproximadamente 2,0 m da coluna d'água.

Com os dados obtidos para a qualidade e disponibilidade da luz subaquática nas estações de estudo, observou-se que na represa de Barra Bonita (verão e inverno) e represa do Lobo, ponto A (verão), nas proximidades da superfície da água havia uma parte significativa da luz azul disponível para a fotossíntese, mas ao se considerar a zona eufótica como um todo, a quantidade total de luz azul fotossinteticamente disponível foi grandemente reduzida. Ainda, com o aumento da turbidez devido a concentrações de material particulado, a luz verde foi rapidamente atenuada, como evidenciado no ponto B, da represa do Lobo na estação do inverno.

O entendimento da operação dos diferentes fatores responsáveis pela atenuação da luz solar no meio aquático, é de grande importância, fornecendo subsídios para se prever conseqüências relativas à sua atenuação devido a possíveis "entradas" nos sistema aquático, como por exemplo o uso da terra afetando a qualidade e disponibilidade da luz subaquática por alterações nas concentrações de material em suspensão e substâncias dissolvidas.

Desta forma, o clima óptico estabelecido, oferecerá condições para as respostas dos organismos e sua distribuição na coluna d'água. Este estudo, portanto vem ampliar o conhecimento científico quanto a penetração de luz solar subaquática e suas implicações.

Segundo HENRY (1993), em estudos sobre produção primária e seus fatores controladores na represa de Jurumirim, verificou que as mudanças na produção primária do fitoplâncton são devidas às variações da radiação solar e de sua transmissão no reservatório. Outro provável fator controlador é a renovação

na coluna d'água com ressuspensão de distribuição do plâncton na zona eufótica avaliada pela relação entre as zonas eufótica e de mistura.

Além disso, a luz tem sido considerada como um importante fator regulador na migração vertical dos organismos planctônicos.

Neste sentido, DODSON (1990), discute um modelo de comportamento usual da migração vertical diária para uma população zooplanctônica, na qual passa as horas do dia nas camadas mais profundas do ambiente aquático e caminha rumo à superfície somente ao anoitecer. Este comportamento, encontrado tanto em águas doces como marinhas, pode ter sua causa na intensidade de predação visual sobre o zooplâncton, intensidade de luz, temperatura e nível de alimentação.

A luz que atinge a superfície de um sistema aquático pode produzir uma cor aparente como resultado de sua interação com os componentes da água, como também em ambientes rasos, pela reflexão de objetos na superfície, sedimentos arenosos e densos, vegetação densa e escura (COLE, 1979).

Alguns sistemas aquáticos resultam em cor avermelhada devido as partículas inorgânicas suspensas originárias da erosão do solo na sua vizinhança. A presença de algas azuis esverdeadas pode indicar o início de uma eutrofização extrema, às vezes com coloração avermelhada. Vários outros ambientes aquáticos apresentam cor verde brilhante decorrente da presença de algumas espécies de *Euglena* nas camadas superficiais. Águas bem azuis, caracterizam um ambiente transparente e ultra-oligotrófico, com baixa concentração de compostos húmicos dissolvidos e de material particulado (COLE, 1979).

As interações da disponibilidade da luz, sua distribuição espectral e a fisiologia do fitoplâncton determinam restrições fundamentais na taxa de produção primária pela coluna d'água (PLATT et al., 1984).

6.5 Outros Estudos na Literatura

Estudos relacionados com a penetração de luz em sistemas aquáticos tem sido preocupação de muitos pesquisadores desde há muito. São citados dois exemplos desses estudos em localidades diferentes, que ilustram a diversidade na qualidade e disponibilidade da luz subaquática.

TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1976), apresentaram revisão geral sobre o problema da produção de matéria orgânica em ecossistemas aquáticos com ênfase especial em certos aspectos da produção primária do fitoplâncton, interrelações fito-zooplâncton e fatores climatológicos e hidrológicos que a influenciam. Um dos fatores discutidos foi o da penetração da luz em diversos ecossistemas aquáticos, como ilustra a Figura 81.

Segundo TUNDISI (1970), em águas costeiras ou águas interiores, com grande concentração de matéria orgânica dissolvida, ocorre maior penetração na faixa do infravermelho.

KIRK (1983), discutiu as taxas relativas de atenuação em diferentes faixas espectrais devido a absorção diferenciada do espectro eletromagnético pelo meio aquático, como ilustra a Figura 82, cujas águas tropicais oceânicas (Oceano Pacífico, a 100 Km da costa mexicana), onde a água propriamente foi o meio absorvedor, tanto a luz verde como a azul penetraram profundamente e praticamente na mesma proporção, enquanto a luz vermelha, a qual a água absorve fortemente, foi atenuada mais rapidamente. Em contraste, nas águas doces, a faixa espectral do azul é usualmente mais fortemente atenuada, devido a altas concentrações de substâncias dissolvidas que tipicamente ocorrem em águas interiores (Reservatório de San Vicente, Califórnia - USA e Georgetown "billabong" - Austrália). A faixa do verde é usualmente mais penetrante, seguida pelo vermelho. Quando a concentração de material em suspensão é alta, entretanto, a faixa do vermelho penetra tanto quanto a do verde (represa Corin - Austrália).

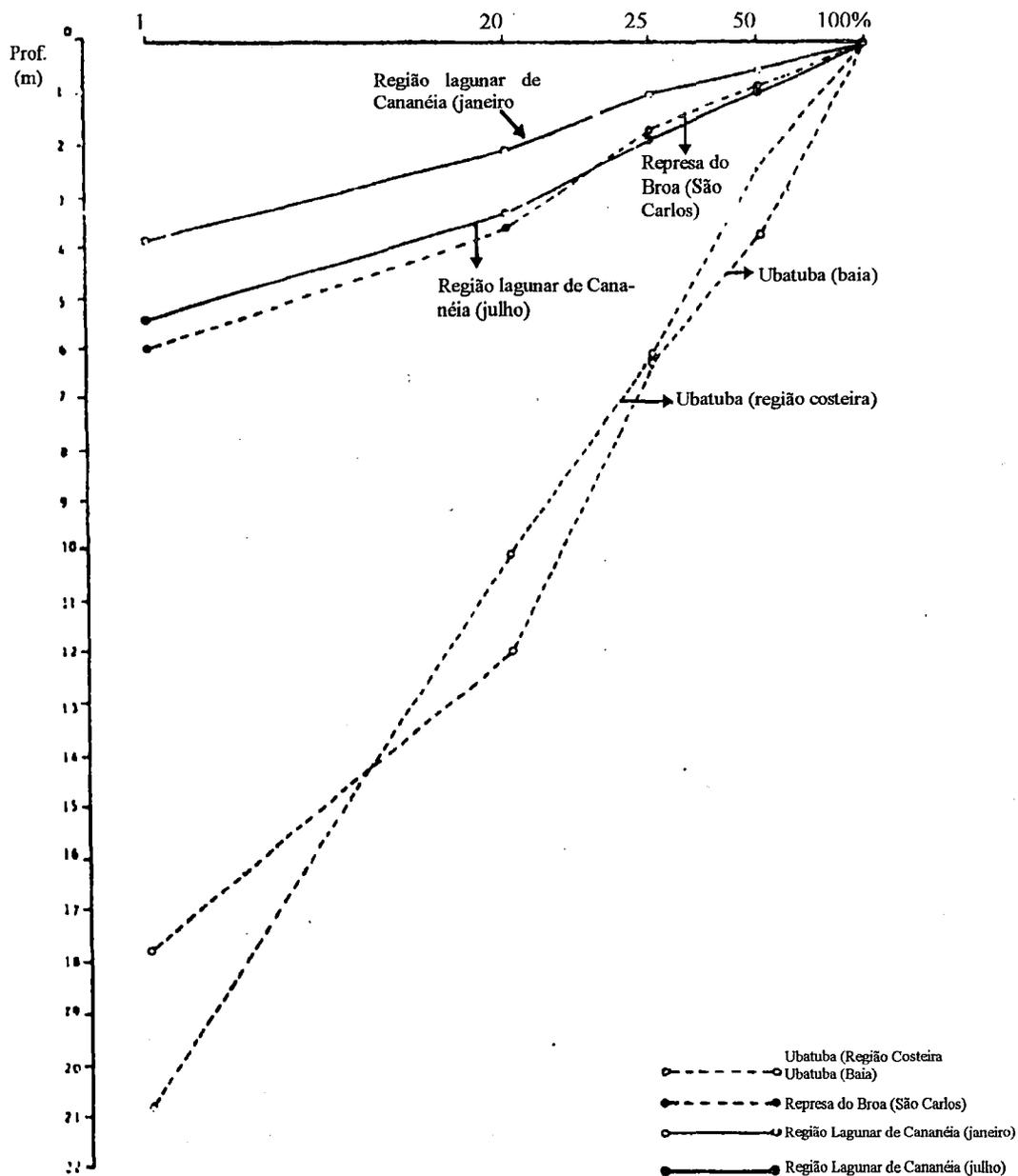


FIGURA.81 - Penetração de luz relativa em diversos ecossistemas aquáticos: águas costeiras, estuário e reservatório raso, turbulento (transmissão entre 480 nm a 700 nm)
 Fonte: TUNDISI & TUNDISI, 1976

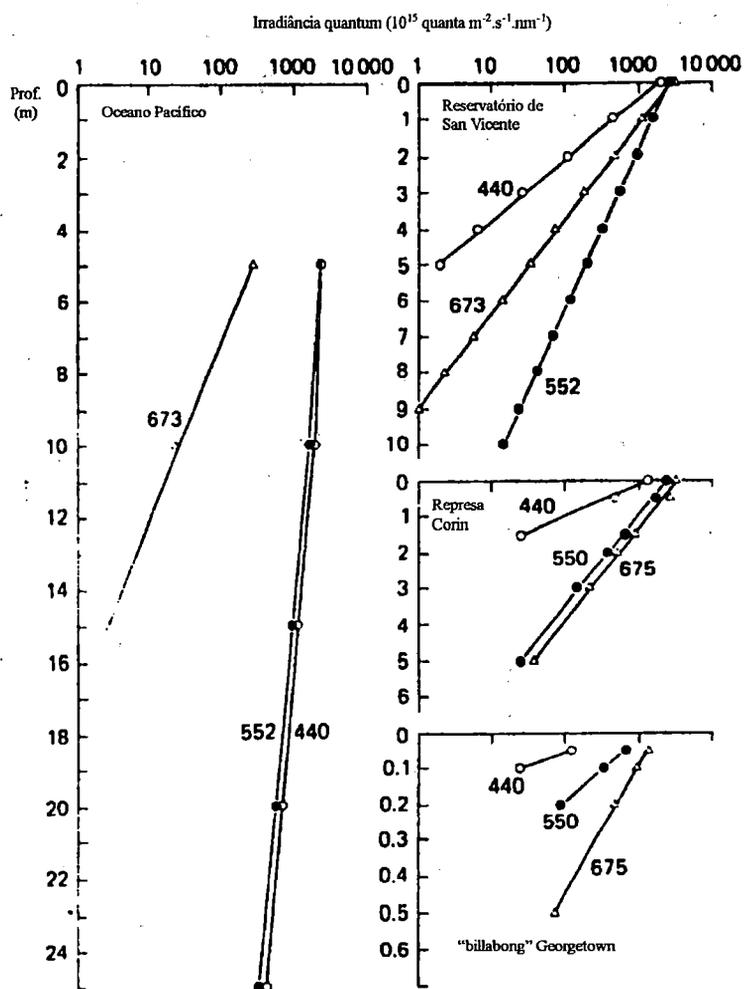


FIGURA 82 - Perfil da radiação fotossinteticamente ativa na faixa do azul (o), do verde (●) e do vermelho (Δ) em águas oceânicas e em três sistemas de águas interiores
Fonte: KIRK, 1983

As referências acima citadas, reforçam a existência da diversidade de aspectos a serem analisados no estudo da disponibilidade e qualidade da luz subaquática, podendo-se observar as diferenças e similaridades com as estações de estudo aqui desenvolvidas.

6.6 Aplicações

6.6.1 Considerações gerais

O estudo da qualidade e disponibilidade da luz solar subaquática tem sido objeto de interesse para várias áreas da Limnologia, principalmente no sentido de caracterização, preservação e conservação dos ambientes aquáticos.

A tecnologia avança a passos largos, e muitas vezes, às custas do comprometimento da qualidade de rios, lagos e mares para as gerações futuras, como conseqüência da falta de conhecimento do homem na utilização de recursos disponíveis de maneira adequada e coerente.

Através dos resultados obtidos com esta pesquisa, pode-se oferecer subsídios para o entendimento mais amplo do mecanismo e funcionamento dos ecossistemas aquáticos, possibilitando a identificação de situações adversas para manter a qualidade de vida para o próprio homem.

As atividades antrópicas podem provocar mudanças no clima óptico do ambiente aquático e conseqüentemente, alterar sobremaneira sua organização biológica. Neste sentido, são citadas algumas aplicações do estudo desenvolvido, de modo a contribuir, de alguma forma, para a detecção de problemas ou direcionamento de possíveis soluções:

- ⇒ Identificação de fontes poluentes
- ⇒ Identificação de fontes pontuais de entrada de material em suspensão
- ⇒ Gerenciamento do sistema
- ⇒ Diferenciação entre ecossistemas por mapeamento de imagens de satélite
- ⇒ Efeito dos usos e ocupações da bacia hidrográfica sobre o sistema

Com este estudo, pretende-se somar conhecimentos, gerando informações que possibilitem ao homem o estabelecimento de planos e critérios

que viabilizem a utilização dos ecossistemas aquáticos, com ponderação, mantendo suas condições naturais, para que seus múltiplos usos sejam garantidos como fornecimento de água para abastecimento, tanto doméstico como industrial, geração de energia elétrica, produção de alimentos, lazer e outros. Com isto, melhorando a qualidade de vida humana e conservando os recursos hídricos disponíveis.

Sob este ponto de vista, pode-se citar a aplicação do sensoriamento remoto, como recurso fundamental de identificação de problemas ambientais, como também de caracterização de ambientes aquáticos, com aquisição de informações à distância sobre objetos e fenômenos através de registros por radiação eletromagnética.

6.6.2 Utilização do sensoriamento remoto em estudos limnológicos

O sensoriamento remoto refere-se ao uso de sensores de radiação eletromagnética para registrar dados (usualmente imagens) da superfície terrestre que podem ser interpretadas fornecendo informações úteis (CURRAN* apud NOVO, 1995) para caracterização, avaliação e monitoramento ambiental, inclusive para ecossistemas aquáticos.

Segundo NOVO (1995), a interpretação de imagens por sensoriamento remoto é baseada no conhecimento de como a radiação eletromagnética interage com os principais componentes da Terra: ar, água, vegetação, rochas e seres vivos.

A radiação eletromagnética incidente sobre os componentes da Terra pode ser refletida, absorvida ou transmitida. O sensor remoto é capaz de medir a energia refletida ou emitida a partir dos diferentes componentes terrestres.

* CURRAN, P.J. (1986). *Principles of remote sensing*. New York, Longman apud NOVO, E.M.L.M.; LOBO, F.; CALIJURI, M.C. (1995). Remote sensing and Geographical Information System Application to inland water studies. *Limnology in Brasil*, Rio de Janeiro: ABC/SBL, p.283-303.

componente para o outro ao longo do espectro eletromagnético.

A capacidade de um sensor distinguir entre os componentes da Terra, no entanto, não é somente dependente das interações entre a radiação eletromagnética e estes, mas também dos parâmetros dos sensores, tais como: resolução espacial, resolução espectral, resolução radiométrica e frequência de aquisição de dados.

Neste sentido, não é de interesse detalhar todos os conceitos aqui envolvidos, mas sim dar uma visão bem ampla para o entendimento de sua grande aplicabilidade em estudos limnológicos.

Devido a complexidade dos sistemas aquáticos e do grande número de medidas necessárias para a sua caracterização, as pesquisas limnológicas se baseiam em quantidades limitadas de amostras, porém ao se tratar de sistemas com vastas extensões, pode-se obter resultados que não representam o comportamento de toda a massa d'água.

Neste sentido, as aplicações de sensoriamento remoto no estudo de ecossistemas aquáticos tem sido de grande valia, sendo estes voltados para:

- i) direcionar o estabelecimento de estações amostrais para a coleta de dados limnológicos;
- ii) estabelecer modelos que permitam a espacialização de informações pontuais;
- iii) subsidiar os estudos das interações entre os sistemas aquáticos e terrestres proporcionando informações sobre a bacia de captação dos sistemas aquáticos.

Em sistemas aquáticos especificamente falando, pode-se citar, em termos de aplicação, três linhas de atuação, voltadas para a caracterização de: propriedades da água dos sistemas aquáticos; vegetação aquática flutuante e das interações entre o sistema aquático e sua região de influência (NOVO, 1995).

Como um exemplo de aplicação do sensoriamento remoto em estudos limnológicos, foram cedidas imagens de satélite pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que ilustram sua contribuição para a caracterização dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo. Estas imagens foram obtidas nos dias 23/07/96 e 24/08/96 para a represa do Lobo, e nos dias 23/07/96 e 08/08/96 para a de Barra Bonita.

As Figuras 83 e 84 mostram respectivamente a localização das represas de Barra Bonita e do Lobo e sua vizinhança. A imagem da represa do Lobo (Figura 84) indica uma concentração maior da cor verde, o que pode estar relacionado com a vegetação predominante na região, principalmente cerrado, com atividades agrícolas ocasionais. Para a represa de Barra Bonita (Figura 83) a imagem obtida evidencia regiões de coloração marrom, possivelmente devido a preparação do solo ou queimadas e cortes relativos a intensa monocultura de cana-de-açúcar existente ao redor deste reservatório.

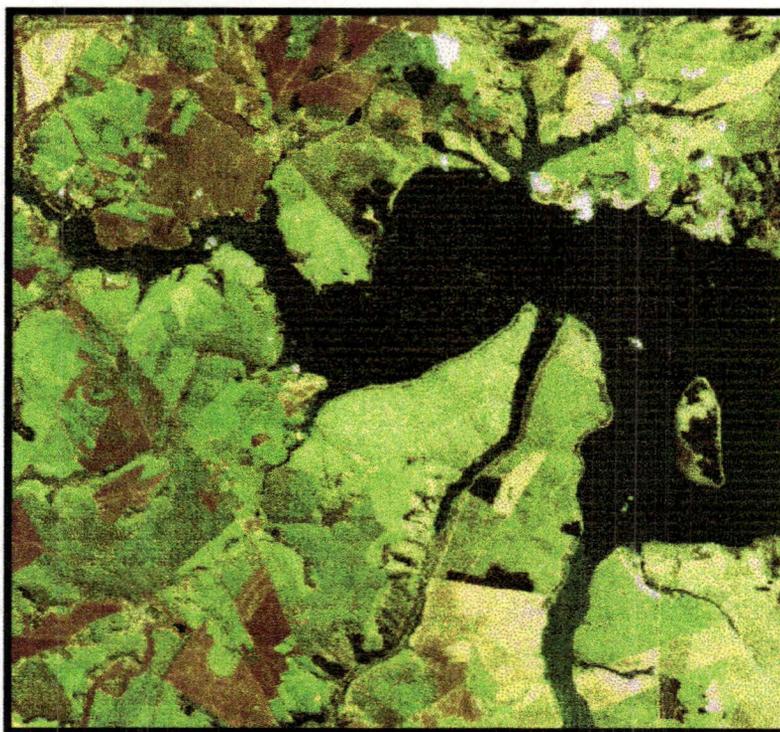


FIGURA 83 - Localização da represa de Barra Bonita e sua vizinhança
Fonte: (INPE, 1996)

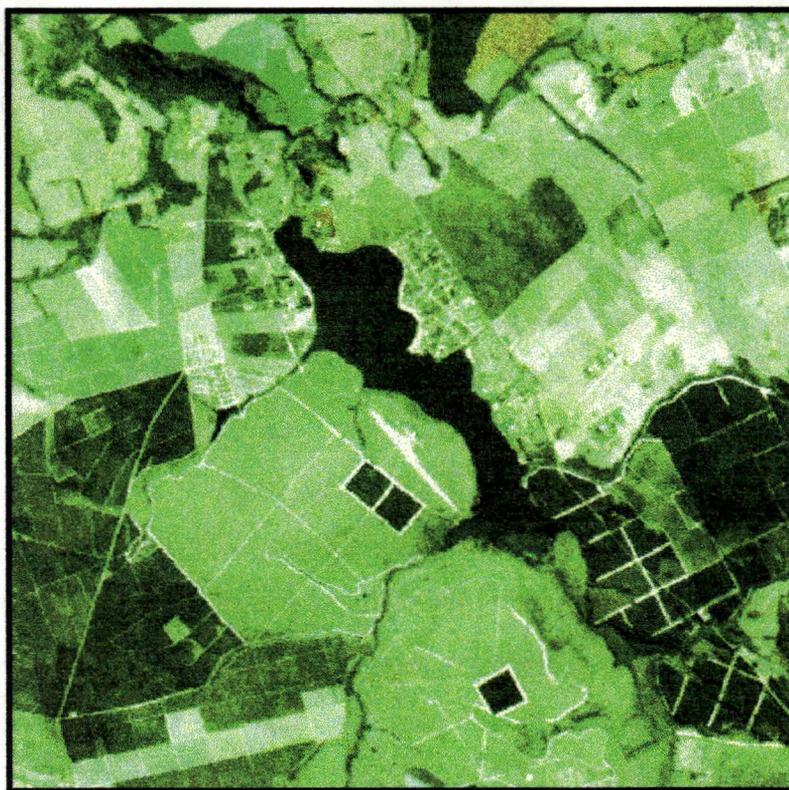


FIGURA 84 - Localização da represa do Lobo e sua vizinhança
Fonte: (INPE, 1996)

As demais figuras, apresentam contribuição quanto a transparência da água de cada reservatório em estudo, nas datas anteriormente mencionadas, fornecendo uma análise qualitativa quanto à sua turbidez. Para o entendimento das imagens obtidas, considera-se a legenda abaixo:

- baixa turbidez (água mais transparente)
- turbidez média
- turbidez mais alta

Nos meses de julho e de agosto, caracterizado por um período seco, apresentam ventos relativamente fortes na região em que se encontram ambos os reservatórios, podendo provocar circulação da massa de água, com ressuspensão de material particulado do sedimento, cuja ocorrência é de grande relevância quanto à turbidez da água nestes ambientes de estudo.

A Figura (85), referente à represa do Lobo em 23/07/96, mostra que

nesta data a mesma apresentava uma mancha maior com predominância da cor azul, que pode indicar uma maior variabilidade da turbidez da água, durante a observação, havendo alguns pontos esparsos com maior transparência (pontos brancos) da água. Este fato pode estar relacionado com a ação de ventos, que nesta data apresentou um valor médio de 1,6 m/s a 2,0 m da superfície da água, segundo Estação Meteorológica local.

A Figura 86, mostra a represa de Barra Bonita em 23/07/96, onde nas proximidades das margens, a água apresentou alta turbidez em algumas partes, provavelmente devido a atividade antrópica nesta região.

Para o mês de agosto, neste reservatório (Figura 88), as águas apresentaram-se mais túrbidas, que no mês anterior, principalmente nas proximidades das margens e da barragem, o que pode estar relacionado com o tempo de retenção da água e o sentido de escoamento da água, levando o material em suspensão nela contido.



FIGURA 85 - Distribuição espacial do nível de turbidez da água na represa do Lobo em 23/07/96

Fonte: (INPE, 1996)

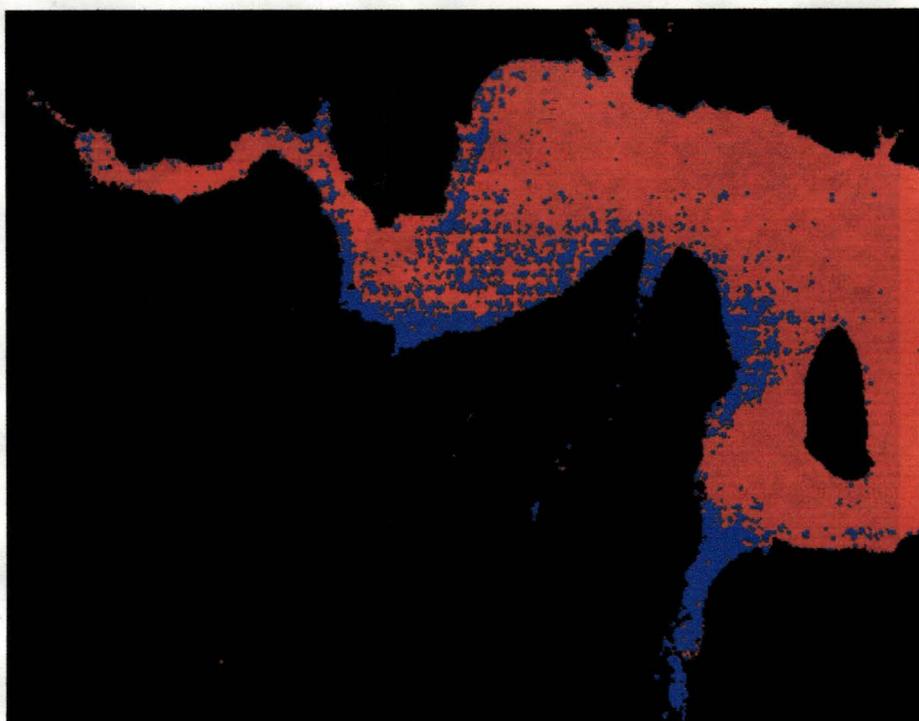


FIGURA 86 - Distribuição espacial do nível de turbidez da água na represa de Barra Bonita em 23/07/96
Fonte: (INPE, 1996)

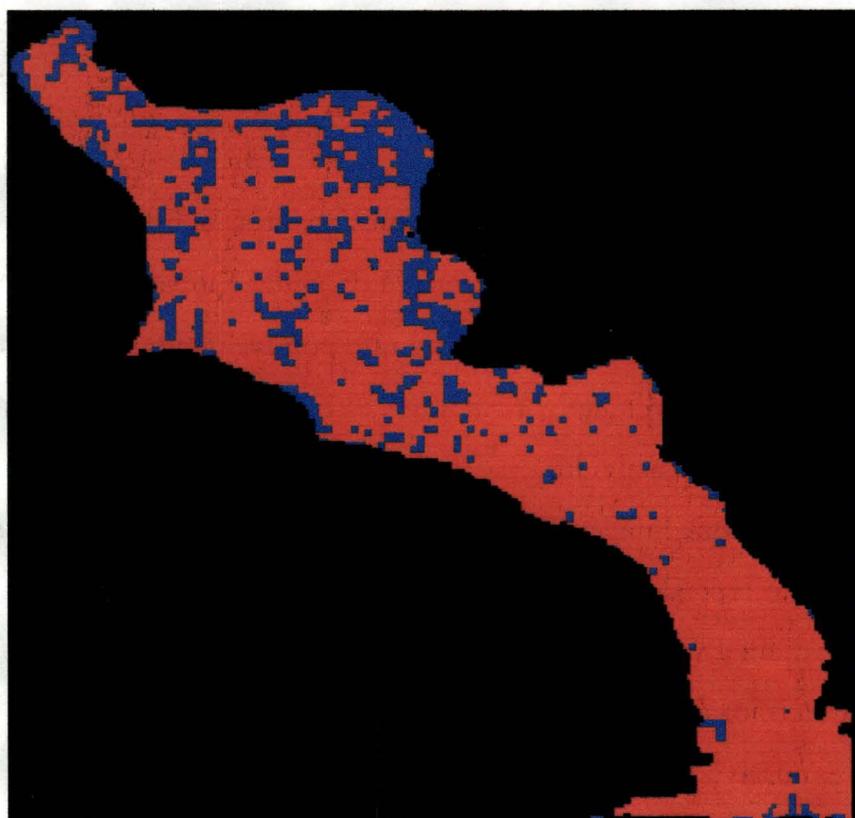


FIGURA 87 - Distribuição espacial do nível de turbidez da água na represa do Lobo em 24/08/96
Fonte: (INPE, 1996)



FIGURA 88 - Distribuição espacial do nível de turbidez da água na represa de Barra Bonita em 08/08/96

Fonte: (INPE, 1996)

Para a represa do Lobo, neste mesmo mês, a Figura 87 indica que houve uma predominância da turbidez média da água, apresentando pontos mais túrbidos, nas proximidades da barragem, o que possivelmente esteja relacionado com o sentido do curso d'água em sua direção e o conseqüente carreamento de material particulado e dissolvido.

Assim, estas imagens de satélite, ilustram o uso de técnicas atuais na caracterização de represas, principalmente do ponto de vista óptico. As medidas realizadas mostram a validade do uso de imagens de satélite acopladas à "verdade lacustre", em termos ópticos, como uma ferramenta importante da caracterização qualitativa, e, possivelmente quantitativa dos ambientes aquáticos.

7 CONCLUSÃO

Para o estudo da penetração de luz nos sistemas aquáticos é de grande importância o entendimento das propriedades ópticas destes ambientes. Denomina-se propriedades inerentes àquelas que são determinadas unicamente pelo conteúdo da água, ou seja, quando a radiação solar penetra num determinado corpo d'água, é atenuada pelos mecanismos de absorção e espalhamento.

As propriedades ópticas aparentes são determinadas tanto pelo conteúdo da água, como pelo campo de luz ambiente, originado pela elevação angular do sol, cobertura de nuvens e outros.

Para facilitar o estudo da disponibilidade e qualidade da radiação solar subaquática é conveniente avaliar as propriedades ópticas aparentes a partir de medidas de penetração de luz com a profundidade, para assim concatenar o maior número possível de variáveis envolvidas

O campo de luz de um corpo d'água está sujeito a variações em sua intensidade e em sua qualidade espectral dependendo de sua localização geográfica, época do ano e hora do dia, as quais estão intimamente relacionadas com a elevação angular do sol e com a sua distância ao ponto de estudo.

As condições climáticas, para o caso das estações de estudo em questão, apresentam-se caracterizadas por duas épocas específicas do ano: o verão, com a ocorrência de chuvas, e o inverno, com ventos relativamente intensos, provocando turbulência na coluna d'água. Em cada estação do ano, assim estabelecida, pôde-se definir condições outras para a vida do ambiente, em termos da disponibilidade de luz subaquática para a fotossíntese:

1. No verão, em ambos os reservatórios, a ocorrência de chuvas, permite a entrada de material particulado e dissolvido carregado pela vizinhança da bacia hidrográfica, alterando a turbidez do ambiente aquático, que exerce relevante influência na luz subaquática, a qual é rapidamente atenuada e alterada sua composição espectral de acordo com o material nele inserido.
2. A ocorrência de ventos fortes, no inverno, ocasiona circulação da massa de água e ressuspensão de material do sedimento, provocando turbulência e turbidez da água, desempenhando papel de grande importância na atenuação da luz subaquática.
3. A Figura 89 mostra como as condições climatológicas e hidrológicas agem sobre os ambientes aquáticos estudados, estabelecendo um conjunto de fatores que determinam o clima de radiação solar subaquática e como consequência, a organização biológica na coluna d'água.

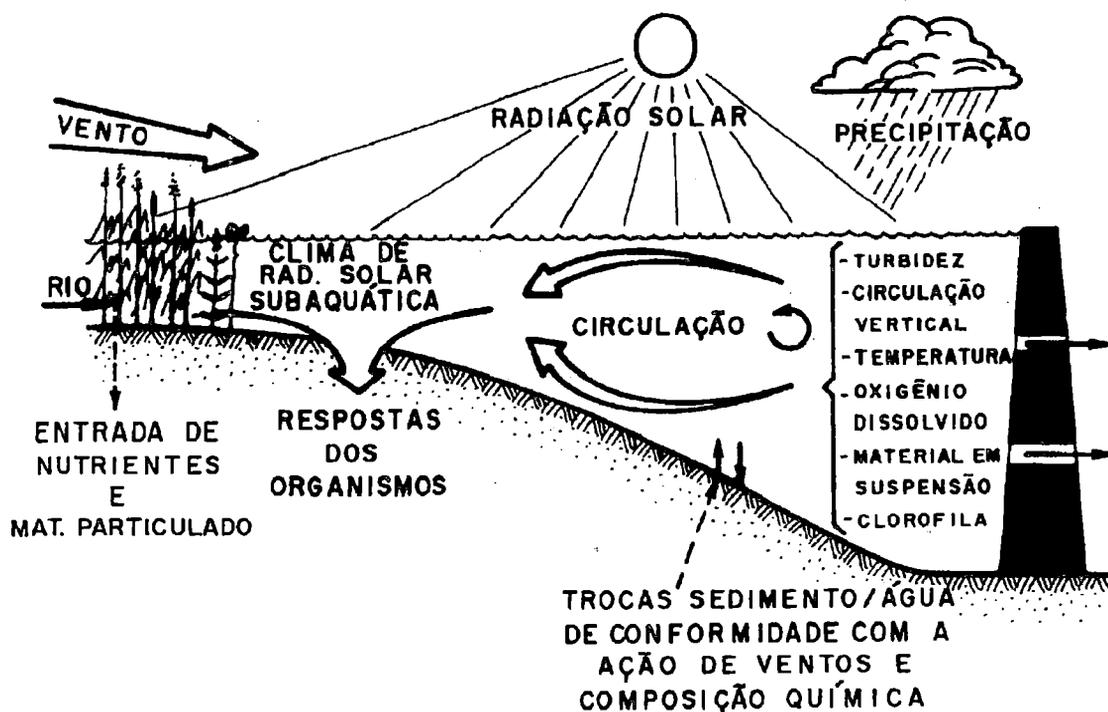


FIGURA 89 - Estabelecimento do clima de radiação solar subaquática mediante as condições meteorológicas e hidrológicas e suas implicações (modificado de CALIJURI & TUNDISI, 1991)

4. A atenuação da luz subaquática nos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo, basicamente é devida a:

4.1 Na represa do Lobo

- i) A presença de mineração de areia ocasiona acúmulo de material detrital e morte de macrófitas, aumentando a concentração de material em decomposição e substâncias dissolvidas.
- ii) Desmatamento da mata ciliar, ocasionando maior escoamento superficial e maior assoreamento.
- iii) Incentivo à recreação, que de certa forma, acarreta alterações no ecossistema, atingindo o seu clima óptico como uma das conseqüências.

4.2 Na represa de Barra Bonita

i) Elevada carga de entrada de materiais em suspensão e dissolvidos nos sistema. São resíduos de origem doméstica, e em grande escala, dejetos de pesticidas devido a cultura de cana-de-açúcar, que principalmente na época de altas precipitações contribui para taxas elevadas de material carregado para a represa.

ii) No verão, ocorreram florescimentos de algas, possivelmente como respostas fotossintéticas diferenciadas, segundo o clima óptico gerado.

iii) Os usos e ocupações na vizinhança da bacia hidrográfica, constituem mais um fator a implicar mudanças na qualidade e disponibilidade da radiação solar subaquática do corpo d'água na qual está inserida.

5. Em função do que foi discutido e obtido com os dados de campo, aliado ao que se conhece da literatura, pode-se concluir, quanto:

5.1 Aos ambientes de estudo

5.1.1 Para Represa de Barra Bonita

- A profundidade da zona eufótica da represa de Barra Bonita foi muito reduzida, ocorrendo uma intensa atenuação da luz solar subaquática nos primeiros metros, devido às propriedades ópticas aparentes geradas pelas condições hidrometeorológicas e pelas atividades antrópicas desenvolvidas.

- Para este reservatório a atenuação da luz ocorreu marcadamente na faixa do azul já no primeiro metro da coluna d'água, nas duas estações do ano (verão e inverno).

- No verão, a atenuação da luz subaquática ocorreu nas faixas do verde e do azul de modo semelhante, com contribuições maiores de matéria orgânica e de clorofila, o que possivelmente esteja relacionado com o florescimento de algas neste período.
- O comportamento na faixa espectral do verde foi similar ao do azul, cuja atenuação ocorre em águas turvas com altos níveis de material particulado, como foi o caso deste reservatório.
- No inverno, a ação dos ventos promoveu circulação pela coluna d'água, sem alterações apreciáveis nas concentrações de material em suspensão e de clorofila. Contudo, a atenuação da luz solar subaquática foi devida possivelmente às substâncias dissolvidas (aumento de K_w), à clorofila (K_c) e principalmente ao material em suspensão (alto valor de K_x), em decorrência da ressuspensão de material do sedimento, com predominância na faixa espectral do azul.
- Em ambas as estações do ano, a luz correspondente à faixa espectral do vermelho, foi a menos disponível para este ambiente aquático a partir da superfície.
- No inverno e no verão, possivelmente, a luz foi o fator limitante para a produção primária, pois a zona eufótica apresentou-se menor que a zona de mistura nestas duas épocas do ano.

5.1.2 Para o Ponto A, da Represa do Lobo

- A penetração de luz neste reservatório foi maior comparada com a de Barra Bonita. Possivelmente, a atenuação da luz solar subaquática seja

influenciada pela presença de macrófitas e outras plantas aquáticas, que podem funcionar como filtro, retendo material em suspensão, evitando assim sua entrada na estação A.

- A entrada de material em suspensão devido a ocorrência de chuvas, no verão, contribuiu para a atenuação da luz subaquática através dos componentes K_x , preponderadamente, e de K_c , sendo que já no primeiro metro da coluna d'água a faixa espectral do azul é a mais atenuada, e a partir daí o verde e o vermelho atenuaram semelhantemente.

- No inverno, a penetração da luz solar subaquática foi reduzida pela presença de material em suspensão, clorofila e substâncias dissolvidas, com aumento de K_w . A atenuação correu nas faixas do verde e do azul, de maneira muito semelhante, possivelmente devido à matéria orgânica e substâncias dissolvidas, respectivamente.

- Embora no inverno tenha se obtido maior penetração de luz no sistema aquático, a atenuação da luz subaquática nas faixas espectrais do verde e do azul foram mais acentuadas nesta época que no verão, provavelmente relacionada com a ocorrência de ventos, com ressuspensão de material na coluna d'água e possivelmente pelo tempo de retenção.

- Nas duas épocas do ano, a faixa espectral do vermelho apresentou-se menos disponível para o ambiente aquático a partir da superfície, e na faixa do verde para o horário das 15:00h, no inverno.

- No inverno, a zona eufótica foi praticamente igual à zona de mistura, em todo o período de observação, havendo portanto, mistura de nutrientes e circulação do fitoplâncton por toda a zona eufótica.

- No verão, a zona de mistura variou, nos horários observados. Às 09:00h, possivelmente obteve-se produção primária limitada pela zona eufótica, e nos demais horários de observação, pela zona de mistura.

5.1.3 Para o Ponto B, da Represa do Lobo

- Este ponto de estudo localiza-se numa região muito rasa do reservatório, de forma que a ação dos ventos tem papel preponderante na atenuação da luz solar subaquática, dada a facilidade da ressuspensão de material do sedimento.

- No verão, a luz solar subaquática foi reduzida principalmente devido ao de material em suspensão e por uma parcela muito menor devido a clorofila, possivelmente pela entrada de material com a ocorrência das chuvas e pela presença de macrófitas no local, respectivamente. A faixa espectral do azul foi acentuadamente atenuada nos primeiros 0,30m da coluna d'água.

- No inverno, a turbidez foi alta devido a ação dos ventos, ocasionando menor penetração de luz às 09:00h em relação à do verão neste mesmo horário. A luz solar foi atenuada ao penetrar a coluna d'água pela presença de material em suspensão, clorofila e substâncias dissolvidas, provavelmente devido a decomposição de macrófitas, com atenuação predominante na faixa espectral do azul, seguida pelo verde.

- A faixa espectral do vermelho apresentou-se menos disponível para este ambiente aquático desde a superfície, nos dois períodos observados, e na faixa do verde no verão, às 12:00h.

5.1.4 Para as três estações de estudo

- A penetração de luz no inverno foi maior que no verão.
- O coeficiente de atenuação total da luz subaquática foi maior no verão, exceto às 09:00h, no ponto B, da represa do Lobo, no inverno, possivelmente devido a ressuspensão de material do sedimento pela ação dos ventos.
- No verão e no inverno, o coeficiente de atenuação total da luz subaquática aumentou com o aumento da profundidade dos reservatórios e com a hora do dia.
- No inverno, de um modo geral, os valores da componente K_w foram maiores que os obtidos no verão, este aumento pode estar relacionado com o tempo de retenção da água em cada reservatório.
- Na represa de Barra Bonita (verão e inverno) e na represa do Lobo, Ponto A (verão), nas proximidades da superfície da água, a faixa espectral do azul, apresentou-se disponível para estes ambientes aquáticos em altos níveis, mas considerando-se a zona eufótica como um todo, a quantidade total desta luz é grandemente reduzida.

5.2 A metodologia utilizada

A aquisição do conjunto de informações necessárias para o estudo da qualidade e disponibilidade da luz solar subaquática foi possível mediante obtenção de dados a partir de medidas em campo e de análises laboratoriais, permitindo-se concluir:

- A determinação da transparência da água pelo Disco de Secchi e pelo Hidrofotômetro (profundidade onde a intensidade luminosa corresponde a 1% da que atinge a superfície), apresentaram resultados muito próximos.
- O Disco de Secchi, é um instrumento simples, que fornece uma estimativa da transparência da água, possibilitando uma análise qualitativa, porém, com boa margem de segurança. Assim, a natureza altamente subjetiva da utilização do Disco de Secchi, comparativamente com a natureza mais objetiva de um instrumento óptico, a facilidade, a simplicidade e a durabilidade deste instrumento, são atribuições fundamentais para manter o seu uso em estudos limnológicos.
- O Hidrofotômetro (GM MFG & Instrument Corp. Bronx N.Y. 10 451) fornece informações quantitativas, de maneira objetiva, quanto à alteração da intensidade luminosa total e seletiva, na faixa do visível, por toda a coluna d'água.
- A medida da radiação solar subaquática (energia luminosa) foi efetuada com o "Quanta-meter" LI-COR (LI-185A), cujos valores lidos neste instrumento fornece a radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.), concentrada na faixa de 400 nm a 700 nm.
- Foram obtidos valores para a R.F.A., abaixo dos valores de profundidade da zona eufótica, havendo portanto, energia chegando na massa de água abaixo desta. Possivelmente, nesta região se encontre o ponto de compensação, onde ocorre fotossíntese, sem que haja produção efetiva.

O intuito desta contribuição é o de adicionar conhecimentos quanto a caracterização dos ambientes aquáticos, possibilitando o maior controle na preservação dos recursos hídricos, como também o seu manejo quando necessário, para melhorar a qualidade de vida do próprio homem.

8 PERSPECTIVAS

O presente trabalho constituiu uma contribuição ao melhor conhecimento científico dos reservatórios de Barra Bonita e do Lobo, e, portanto, abre algumas perspectivas futuras para novos estudos e projetos, os quais podem ser sintetizados da seguinte forma:

- ⇒ Determinação do coeficiente de atenuação para as faixas espectrais do verde vermelho e azul;
- ⇒ Relação entre o tamanho das partículas contidas na água e a atenuação da luz subaquática;
- ⇒ Comparação da penetração da luz solar subaquática em diferentes ambientes: lacustres, marinhos, costeiros, lóticos, lênticos, eutróficos, oligotróficos;
- ⇒ Comparação da atenuação da luz solar subaquática com turbidez e cor nos sistemas aquáticos;
- ⇒ Determinação da profundidade e da intensidade luminosa em que ocorre fotoinibição;
- ⇒ Relação entre os usos e ocupações da bacia hidrográfica, nível de estado trófico e atenuação da luz solar subaquática.

Existem estudos desta natureza sendo desenvolvidos, em algumas regiões do planeta, mas no Brasil, poucos são os trabalhos referentes a este assunto, esperando-se continuar novos caminhos, que conduzam a conhecimentos cada vez maiores, fornecendo recursos que possam proporcionar subsídios necessários ao controle, manejo e conservação dos ambientes aquáticos.

BIBLIOGRAFIA

- AHN, Y.-H. ; BRICAUD, A.; MOREL, A. (1992). Light backscattering efficiency and related properties of some phytoplankters. *DEEP-SEA RES* v.39, n.11-12-A , p.1835-1855. Nov.-Dec.
- ALDRIDGE, F.J.; PHILIPS, E.J.; SCHESLKE, C.L. (1995). Relationships between light availability, chlorophyll *a*, and tripton in a large, shallow subtropical lake. *Limnology and Oceanography*, v. 40, n.2, p. 416-421.
- BENOIT, G.; HEMOND, H.F. (1996). Vertical eddy diffusion calculated by the flux gradient method: Significance of sediment - water heat exchange. *Limnology and Oceanography*, v.41, n.1, p.157-168.
- BERMAN, T.; DUBINSKY, Zvy. (1979). Seasonal changes in the spectral composition of downwelling irradiance in Lake Kinneret (Israel). *Limnology and Oceanography* v.24, n.4, p. 652-663.
- BRICAUD, A; STRAMSKI, D. (1990). Spectral absorption coefficients of living phytoplankton and nonalgal biogenous matter: A comparison between the Peru upwelling area and the Sargasso Sea. *Limnology and Oceanography*, v.35, n.3, p.562-582.
- BUKATA, R. P. et al. (1995). *Optical and remote sensing of inland and coastal waters*. Flórida. CRC Press Inc.
- BYKOVSKY, V.I. (1980). Effect of water turbulence on illumination at depth. Institute of Hidrology, Ukrainian Academy of Sciences, *HYB 5A7*, v.16, n.6, p.1-95, Kiev.
- CALIJURI, M.C. (1985). *Curvas de luz-fotossíntese e fatores ecológicos em ecossistema artificial e não estratificado: Represa do Broa (Lobo), São Carlos, São Paulo*. São Carlos. 280p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos.
- CALIJURI, M.C. (1988). *Respostas fisiológicas da comunidade fitoplantônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização*.

- São Carlos. 292p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- CALIJURI, M.C. et al. (1989). Changes in light attenuation in fifteen lakes and its relationship with chlorophyll and particulate material, during summer and winter. *Limnological Studies in Rio Doce Valley Lakes Brazil* (3rd. Report) Water Research Institute, Nagoya University, Edited by Yatsuka Saijo e José Galizia Tundisi, p. 3-13, March.
- CALIJURI, M.C.; TUNDISI, J.G. (1990). Limnologia comparada das represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita - Estado de São Paulo: mecanismo de funcionamento e bases para o gerenciamento. *Rev. Bras. Biologia*, v.50, n.4, p.893-913, nov.
- COLE, G.A. (1979). *Text book of Limnology*. 2nd. Ed. The C.V. Mosby Company . St. Louis. p.426.
- CULLEN, J.J. (1992). Characteristics of phytoplankton as monitor of the physical enviroment. *Bigelow Lab. for Ocean Sciens*, West Boothbay Harbor, ME (USA) 4p.
- DODSON, R. (1990). Predicting diel vertical migration of zooplankton. *Limnology and Oceanography*, v.35, n.5, p.1195-1200.
- EISBERG, R.M. (1974). *Fundamentos de Física Moderna*. Editorial Limusa, México.
- ELSTER, H.J.; OHLE, W. (1980). The measurement of photosyntetic pigments in freshwaters and standardization of methods. *Ergebnisse der Limnologie*. Heft 14, ed. Hakumat Rai.
- ESTEP, L. (1994). Diffuse Attenuation Coefficient Profiles. *IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing*, v.32. n.3, p.702-706.
- ESTEVES, F.A. (1988). *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro, Interciência: FINEP, 575p.
- FROST-CHRISTENSEN, H.; SAND-JENSEN, K. (1992). The quantum efficiency of photosynthesis in macroalgae and submerge angiosperms. *O ecologia*. v.91, n.3, p.377-384. Sep. 1992.
- GALLEGOS, C.L.; CORREL, D.L. (1990). Modeling spectral diffuse attenuation, absorption, and scattering coefficients in a turbid estuary. *Limnology and Oceanography*, v. 35, n. 7, p. 1486-1502.

- GORDON, H.R. (1989). Dependence of diffuse reflectance of natural waters on the sun angle. *Limnology and Oceanography*, v.34, n.8, p.1484-1489.
- GORDON, H.R. et al. (1993). Comparison of numerical models for computing underwater light fields. *Applied Optics*, v.32, n.32, Dec20, p.7484-7504. Optical Society of America.
- GORDON, H.R. (1993). Sensivity of radiative transfer to small-angle scattering in the ocean: quantitative assessment. *Applied Optics*, v.32, n.36, Dec 20 p.7505-7511. Univ. of Miami, Coral Gables, FL, USA.
- HAMILTON, M.K. et al (1993). Estimating chlorophyll content and bathymetry of Lake Tahoe using AVIRIS data. *Remote Sensing of enviroment*, v.44, n.2-3, p.217-230, May-Jun.
- HANEY, F.J.; CRAGGY, A.; KIMBALL, K.; WEEKS, F. (1990). Light control of evening vertical migrations by *Chaoborus punctipennis* larvae. *Limnology and oceanography*, v.35, n.5, p.1068-1078.
- HERRING, P.J. et al. (1989). Light harvesting and pigment composition in marine phytoplankton and macroalgae. *Presented at Light and Life in the sea*, Plymouth (UK), 10-11 Apr. 1989.
- HENRY, R. et al. (1983). Response of the phytoplankton of a tropical reservoir (São Paulo, Brazil) to the enrichment with nitrate, phosphate and EDTA. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* v.68, n.6, p.853-862.
- HENRY, R. et al. (1985). Primary production and effects of enrichment with nitrate and phosphate on phytoplankton in the Barra Bonita reservoir (State of São Paulo, Brazil). *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* v.70, n.4, p.561-573.
- HENRY, R. et al. (1988). O conteúdo de calor e estabilidade em dois reservatórios com diferentes tempos de residência. In: Tundisi, J. G. (Ed.) *Limnologia e manejo de represas*. Vol. I, Tomo 1. ACIESP/EESC/USP, São Carlos, p.299-322.
- HENRY, R. (1993). Primary production by phytoplankton and its controlling factors in Jurumirim reservoir (São Paulo, Brazil), *Revista Brasileira de Biologia*, v.53, n.3, p.489-499.
- HINO, K.; TUNDISI, J.G.; e REYNOLDS, C.S. (1986). Vertical distribution of phytoplankton in a stratified Lake (Lago D. Helvécio, Southeastern Brazil) with special reference to the metalimnion. *Japan Journal Limnology*, v.47, n.3, p.239-246.

- JUN, B. et al. (1993). Influence of phytoplankton pigments and bottom features for water quality and depth estimation. Better understanding of Earth Environment International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), v.2, p.488-490. Publ. by *IEEE*, IEEE Service Center, Aus Piscataway, NJ, USA.
- KIRK, J.T.O. (1977). Use of a quantameter to measure attenuation and underwater reflectance of photosynthetically active radiation in some inland and coastal south-eastern Australian waters. *Aust.Journal Mar. Freshwater Res.*, v.28, p.9-21.
- KIRK, J.T.O. (1980). Spectral Absorption properties of natural waters: Contribution of Soluble and Particulate fractions to light absorption in some inland waters of South-eastern Australia. *Aust.Journ. mar. freshwater Res*, n.31, p.287-296.
- KIRK, J.T.O. (1983). *Light and Photosynthesis in aquatic ecosystems*. London, Cambridge University Press, 1983. 401p.
- KIRK, J.T.O. (1989). The upwelling light stream in natural waters. *Limnology and Oceanography*, v.34, n.8, p.1410-1425.
- KIRKPATRICK, G. (1992). Phytoplankton phtotosynthesis in natural mixed layers. Mote Marine Lab., Sarasota, FL (USA), p1.
- KOENINGS, J.P.; EDMUNDSON, J.A. (1991). Secchi disk and phometer estimates of light regimes in Alaskan lakes: Effects of yellow color and turbidity. *Limnologoy and Oceanography*, v.36, n.1, p. 91-105.
- KUEHL, M.; JOERGENSEN, B.B. (1992). Spectral light measurements in microbenthicphototrophic communities with a fiber-optic microprobe coupled to a sensitive diode array detector. *Limnol. Oceanogr*, v. 37 n.8, p.1813-1823.
- LEWIS, W.M.I. (1975). A Theoretical comparison of the attenuation of light energy and quanta in waters of divergent optical properties. *Arch. Hidrobiol. Bd.* 75(3), p.285-296.
- MARGALEF, R. (1983). *Limnologia*. Barcelona, Ediciones Omega, S.A.
- MARITORENA, S.; MOREL A.; GENTILI, B. (1994). Diffuse reflectance of oceanic shallow waters: Influence of water depth and bottom albedo. *Limnology and Oceanography*, v.39, n.7, p.1689-1703.
- MEGARD, R.O. et al. (1980). Light, Secchi disks, and trophic states. Departament of Ecology and Behavioral Biology. University of Minnesota Minneapolis. *Limnology Oceanography*, v.25, n.2, p.373-377.

- MEGARD, R.O. & BERMAN, T. (1989). Effects of algae on the Secchi transparency of the southeastern Mediterranean Sea. *Limnology and Oceanography*, v.34, n.8, p.1640-1655.
- MESPLÉ, F. et al. (1995). Some difficulties in modelling chlorophyll a evolution in a high rate algal pond ecosystem. *Ecological Modelling*, v.78. p.25-36.
- MOED, J.R. & HALLEGRAEFF, G.M. (1978). Some problems in the estimation of chlorophyll-a and phaeopigments from pre-and postacidification spectrophotometric measurements. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* v.63, n.6, p.787-800.
- NEGRISOLI, M.E.M. (1981). *Instalações elétricas - projetos prediais em baixa tensão*. Itaujá, Editora Edgard Blücher Ltda., 156p.
- NOVO, E.M.L.M.; LOBO, F.; CALIJURI, M.C. (1995). Remote Sensing and Geographical Information System Application to Inland Water Studies. *Limnology in Brazil*, Rio de Janeiro: ABC/SBL, p.283-303.
- NUSCH, E.A. & PALME, G. (1975). Biologische methoden für die praxis der gewässeruntersuchung. *Gws-Wasser Abwasser*, v.116, p.562-565.
- NUSCH, E.A. (1980). Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigments determination. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, v.14, p.14-36.
- ODUM, E.P. (1971). *Fundamentals of ecology*. 3.ed. USA, W. B. Saunders Company.
- PLATT, T.; LEWIS, M.; GEIDER, R. (1984). Thermodynamics of the pelagic ecosystem: Elementary closure conditions for biological production in the open ocean. In *Flows of energy and materials in marine ecosystem* NATO Conf. Serv. 4, Mar. Sci. v.13. Plenum. p.49-84.
- POOLE, H.H.; ATKINS, W.R.G. (1929). Photoelectric measurements of submarine illumination throughout the year. *Journal of the Marine Biological Association*, v.16, p.297-324.
- PRIEUR, L.; SATHYENDRANATH, S. (1981). An optical classification of coastal and oceanic waters based on the specific spectral absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter and other particulate materials. *Limnology and Oceanography*, v.26, p.671-689.
- QASIM, S.Z.; BAKANUSI, P.M.; ABIDI, S.A.H. (1968). Solar radiation and its penetration in a tropical estuary. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2 p.87-103.

- REYNOLDS, C.S. (1984). *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge.
- RAI, H. (1973). Methods involving the determination of photosynthetic pigments using spectrophotometry. *Verh I. Verein Limnol.*, n.18, p.1864-1875.
- RIETZLER, A.C. (1995). *Alimentação, ciclo de vida e análise da coexistência de espécies e cyclopoida na Represa de Barra Bonita, SP*. São Carlos, 385p. Tese Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- SANDÉN, P.; HÅKANSSON, B. (1996). Long-term trends in Secchi depth in the Baltic Sea. *Limnology and Oceanography*, v.41, n.2, p.346-351.
- SMITH, R.C.; BAKER K.S. (1978). Optical classification of natural waters. *Limnology and Oceanography*, v.23, n.2, p.260-267.
- SMITH, R.C. (1980). The optical characterization of natural waters by means of an extinction coefficient. *Limnology and Oceanography*. v.13. p.423-429.
- STEFAN, H.G. et al. (1983). Model of light penetration in a turbid lake. *Water Resources Research*, v.19, n.1, p.109-120, Feb.
- STEMANN-NIELSEN, E.; JENSEN, A. (1957). Primary oceanic production the autotrophic production of organic matter in the oceans. *Galathea Rep.* 1. p.49-136.
- STOREY, M.L. et al. (1993). Site-specific determination of kinetic coefficients for modelling algal growth. *Ecological Modelling*, 66, p.181-196.
- STRASKRABA, M.; HOCKING, G. (1994). Na analysis of the efect of na upstream reservoir using a mathematical model of reservoir hydrodynamics. *Water Science & Technology*.
- SULLIVAN, S.A. (1963). Experimental study of the absorption in distilled water, artificial sea water, and heavy water in the visible region of the spectrum. *Journal of the Optical Society of America*, v.53. p.962-968.
- TALLING, J.F. (1990). Diel and seasonal energy transfer, storage and stratification in African reservoirs and lakes. *Ergebnisse der Limnologie Advances inLimnology* Helf 33. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung - Stuttgart - p.651-660.
- TUNDISI, J. G. (1969). *Produção primária, "standing-stock" e fracionamento do fitoplâncton na Região Lagunar de Cananéia*. 131p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo.

- TUNDISI, J.G. (1970). O plâncton estuarino. *Ocean. Biol.* (19), p.1-22.
- TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. (1976). Produção orgânica em ecossistemas aquáticos. *Ciência e Cultura*, v. 28 n.8, p.864 - 887, agost.
- TUNDISI, J.G. (1977). *Produção primária, "standing-stock", fracionamento do fitoplâncton e fatores ecológicos em ecossistema lacustre artificial (Represa do Broa, São Carlos)*. Ribeirão Preto, 409p. Tese (Livre-Docência) Faculdade Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.
- TUNDISI, J. G. et al. (1988). Comparações do estado trófico de 23 reservatórios do Estado de São Paulo: eutrofização e manejo. In: Tundisi, J. G. (Ed.) *Limnologia e manejo de represas*. (Série Monografias em Limnologia), Vol. I, Tomo 1, p.165-204.
- TUNDISI, J.G. (1988). *Limnologia e manejo de represas*. São Paulo, ACIESP, v.1. 2tomos (Série monografias em limnologia).
- TUNDISI, J.G. et al. (1988). The Lobo (Broa) ecosystem study and reservoirs in Brazil. *Japan: UNCRD: ILEC; UNEP*, 27p.
- TUNDISI, J.G. (1990). Key factors of reservoir functioning and geographical aspects of reservoir limnology Chairman's overview. *Ergebnisse der Limnologie Advances in Limnology* Heft 33. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung - Stuttgart p.645-646.
- TUNDISI, J.G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. (1990). Limnology and eutrophication of Barra Bonita reservoir, S. Paulo State, Southern Brasil. *Ergebnisse der Limnologie Advances in limnology*. Helf 33. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung - Stuttgart - p. 661-676.
- TUNDISI, J.G. (1994). Ecosystem model for the Lobo (Broa) Reservoir (Brazil). *Wetlands and Shallow Continental Water Bodies*. v.2. Case Studies, p.217-234.
- TYLER, J.E. et al. (1972). Predicted optical properties for clear natural water. *Journal of the Optical Society of America*, v.62., n.1, p.83-91.
- TYLER, J.E.; SMITH, R.C. and GOLDMAN, C.R. (1973). Optical Properties and color of Lake Tahoe and Crater Lake. *Limnology and Oceanography*. v.18, n.2, p.189-199.
- WALMSLEY, R.D. et al. (1980). Light penetration and the interrelationships between optical parameters in a turbid subtropical impoundment. *Hydrobiologia*, v.70. p.145-157.

- WANG, J. & SEYED-YAGOOBI. (1994). Effects of water turbidity and salt concentration levels on penetration of solar radiation under water. *Solar Energy*, v.52, n.5, p.429-438.
- WETZEL, R.G. (1981). *Limnologia*. Barcelona. Ed. Omega, 679p.
- WETZEL, R.G. & LIKENS, G.E. (1991). *Limnological Analyses*. 2nd. ed. New York, Springer-Verlag.
- YENTSCH, C. S. (1960). The influence of phytoplankton pigments on the colour of sea water. *Deep-sea. Res.* v.7, p.1-9.
- YENTSCH, C.S. (1962). Measurement of visible light absorption by particulate mater in the ocean. *Limnology and Oceanography*, v.7. p.207-217.
- YENTSCH, C.S. (1980). Light attenuation and phytoplankton photosynthesis. In: Morris, I. (ed.) *The physiological ecology of phytoplankton*. blackwell Scientific Publ., v.99. p.95-127.



A N E X O

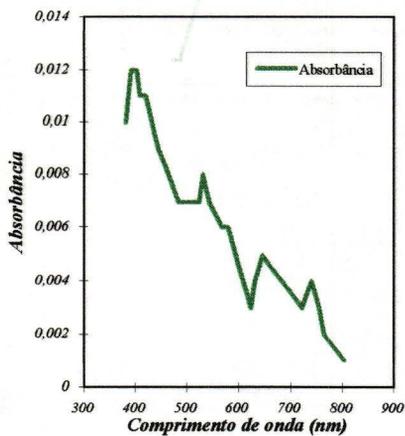


As figuras abaixo relacionam a absorbância da água em função do comprimento de onda da luz subaquática, nas profundidades assinaladas, obtidas de acordo com o percentual de intensidade luminosa nos horários de observação

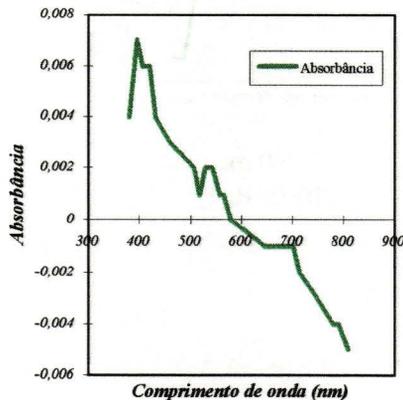
Represa de Barra Bonita em 23/02/96

Período chuvoso: Verão

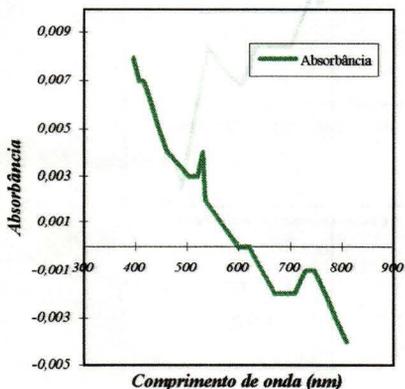
9:00h



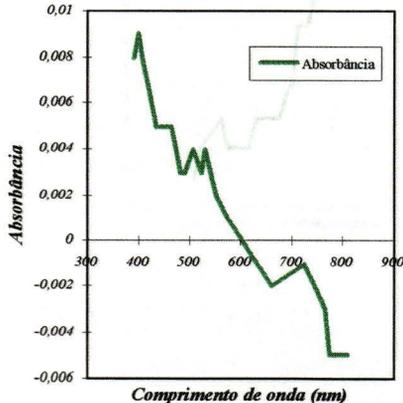
0,0 m
100% de I_0



0,50 m
47% de I_0

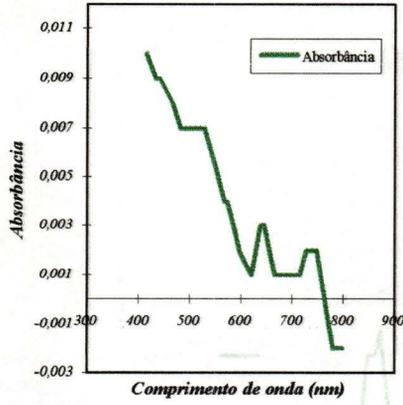


2,50 m
1% de I_0

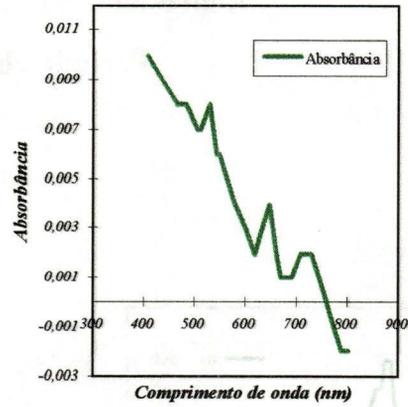


10,0 m
zona afótica

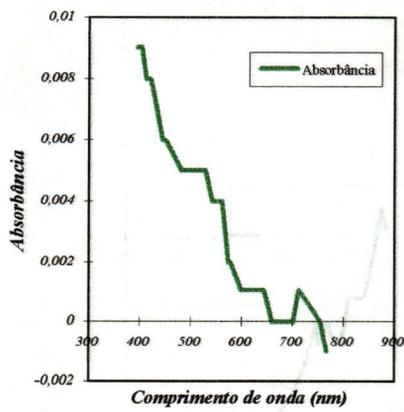
12:00h



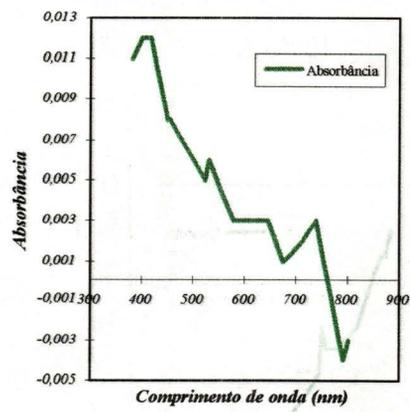
0,0 m
100% de I_0



0,50 m
63% de I_0

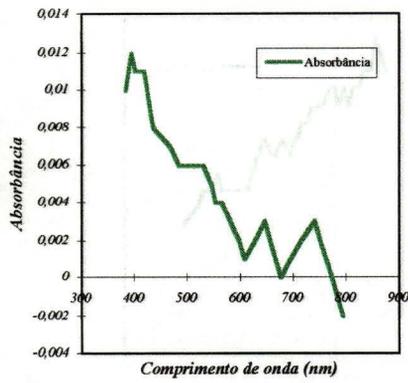


2,75 m
1% de I_0

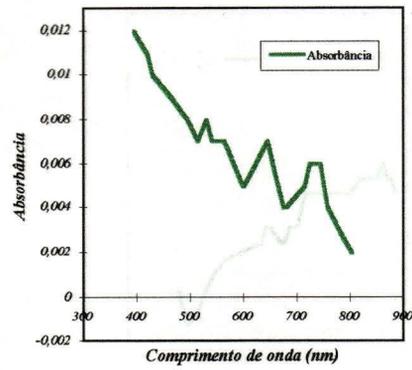


10,0 m
zona afótica

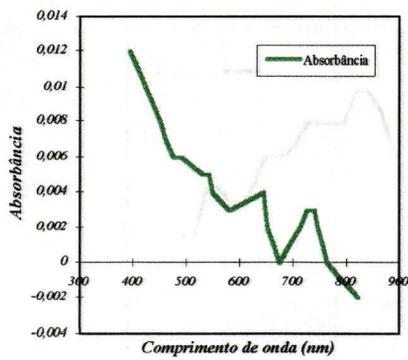
15:00h



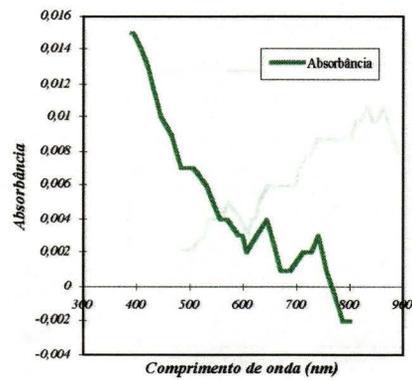
0,0 m
100% de I_0



0,75 m
29% de I_0



2,50 m
1% de I_0

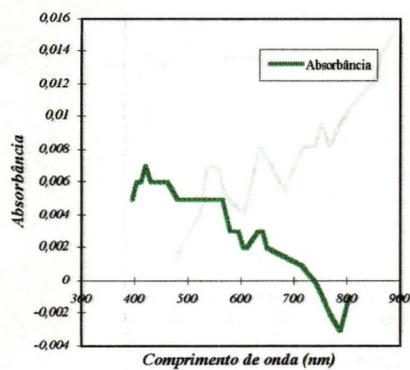


10,0 m
zona afótica

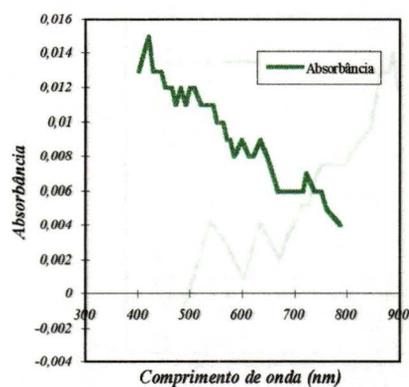
Represa de Barra Bonita em 01/08/96

Período seco: Inverno

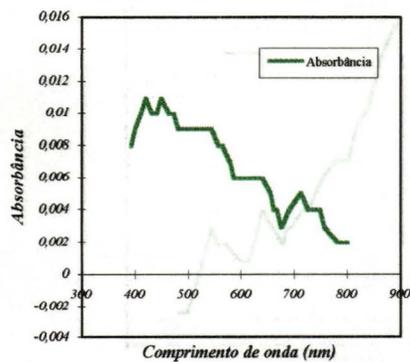
9:00h



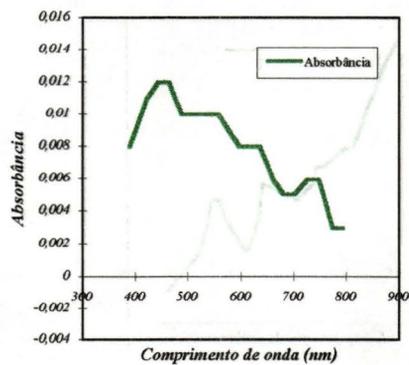
0,0 m
100% de I_0



0,75 m
50% de I_0

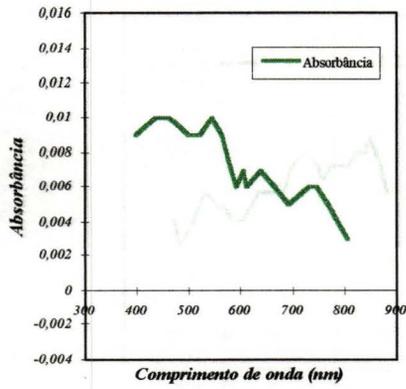


5,0 m
1% de I_0

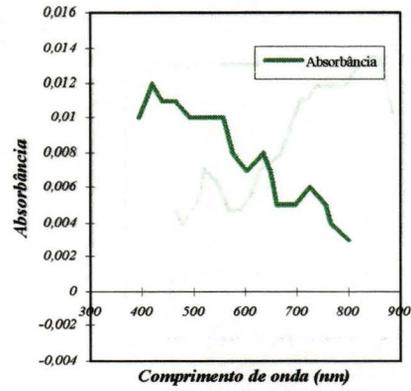


15,0 m
zona afótica

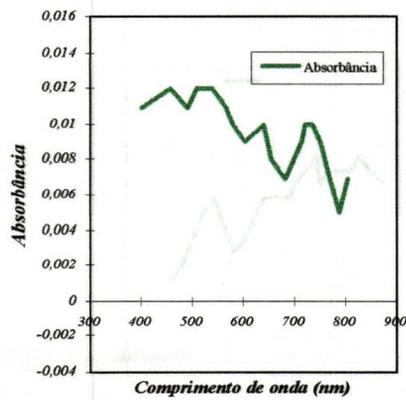
12:00h



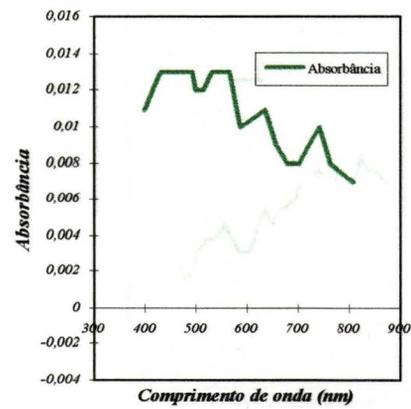
0,0 m
100% de I_0



1,25 m
50% de I_0

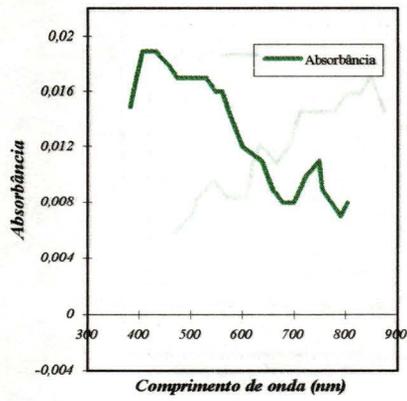


6,25 m
1% de I_0

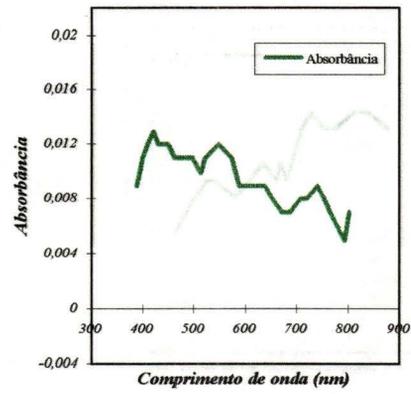


15,0 m
zona afótica

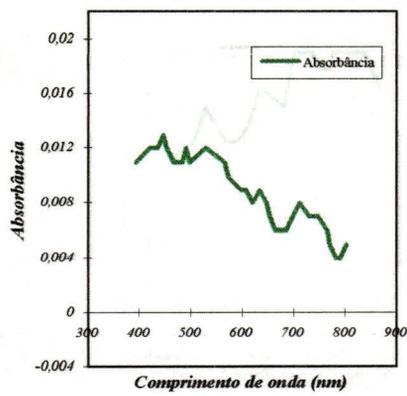
15:00h



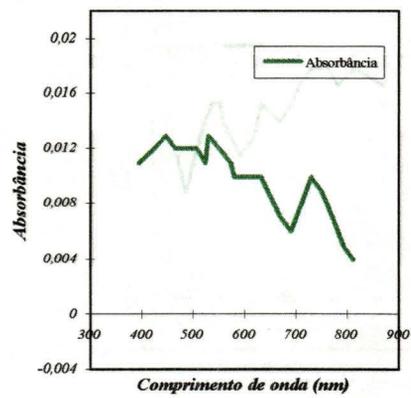
0,0 m
100% de I_0



0,50 m
70% de I_0



5,75 m
1% de I_0

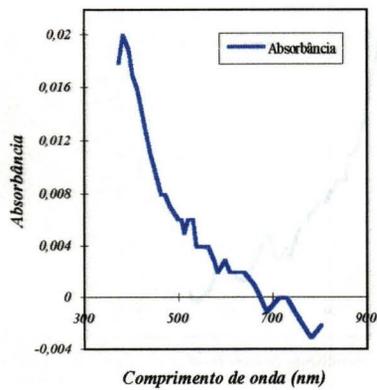


15,0 m
zona afótica

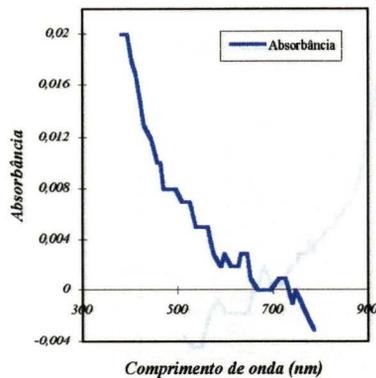
Represa de Lobo, Ponto A, em 05/03/96

Período chuvoso: Verão

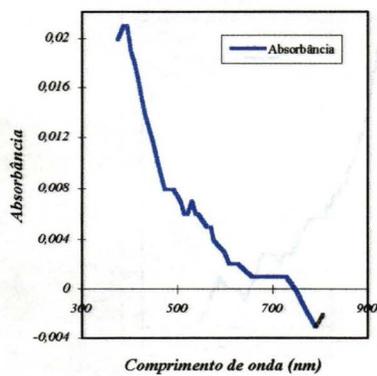
9:00h



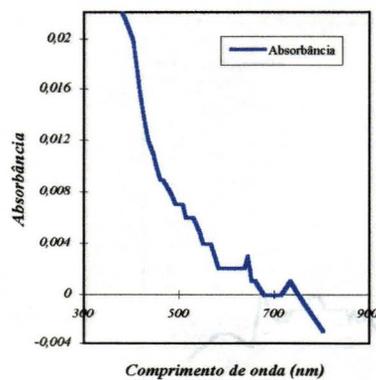
0,0 m
100% de I_0



0,75 m
44% de I_0

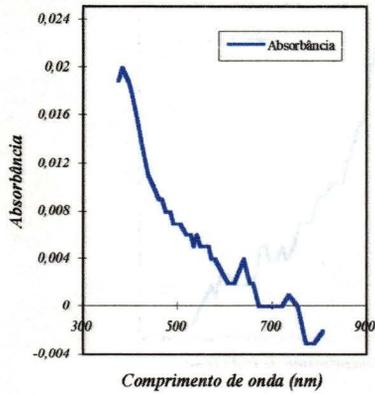


3,25 m
1% de I_0

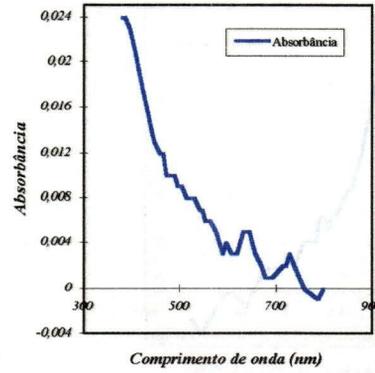


6,0 m
zona afótica

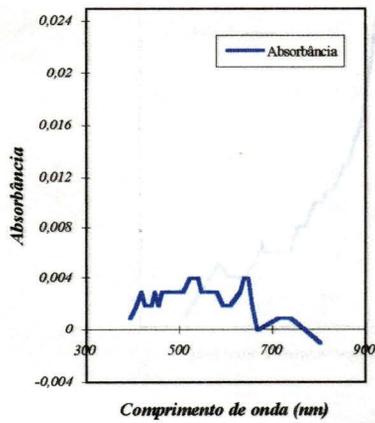
12:00h



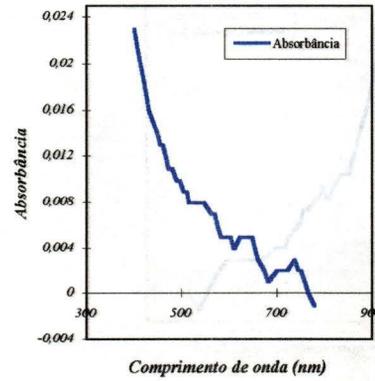
0,0 m
100% de I_0



0,75 m
53% de I_0

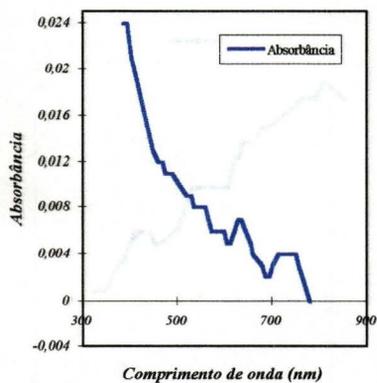


3,50 m
0,3% de I_0

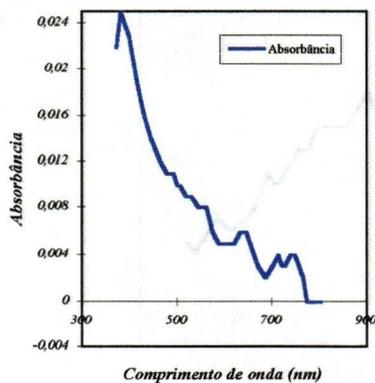


6,0 m
zona afótica

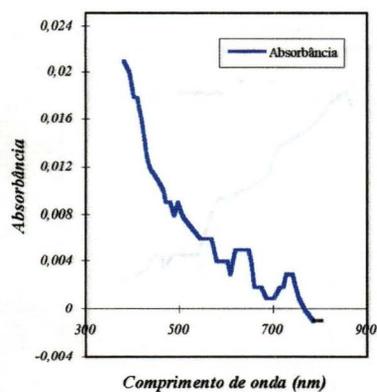
15:00h



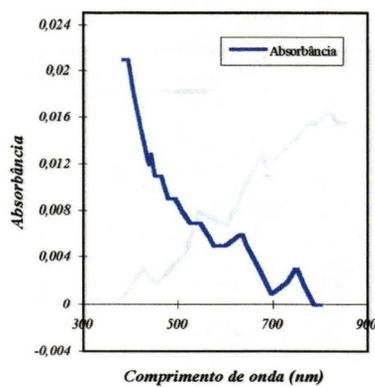
0,0 m
100% de I_0



0,75 m
31% de I_0



3,25 m
1,0% de I_0

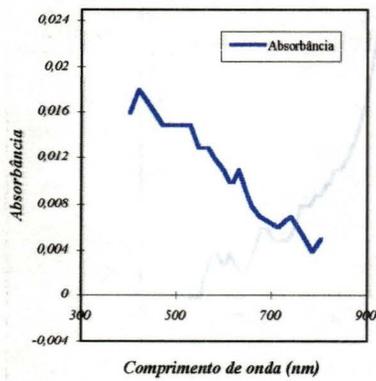


6,0 m
zona afótica

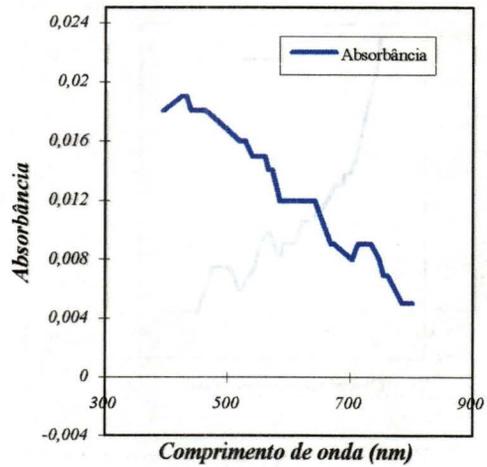
Represa de Lobo, Ponto A, em 26/09/96

Período seco: Inverno

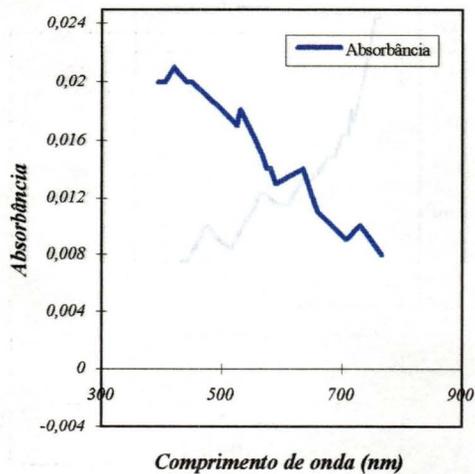
9:00h



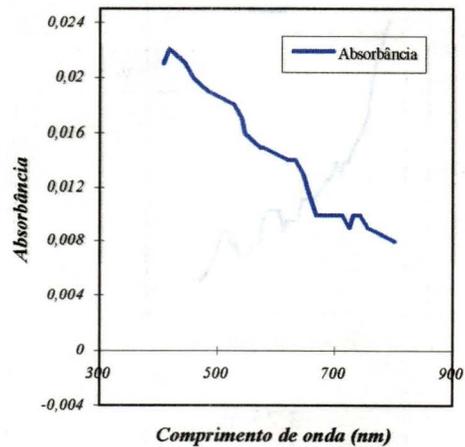
0,0 m
100% de I_0



0,75 m
50% de I_0

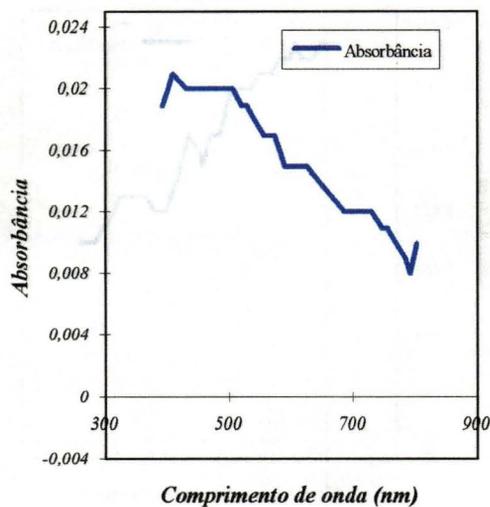


5,0 m
1% de I_0

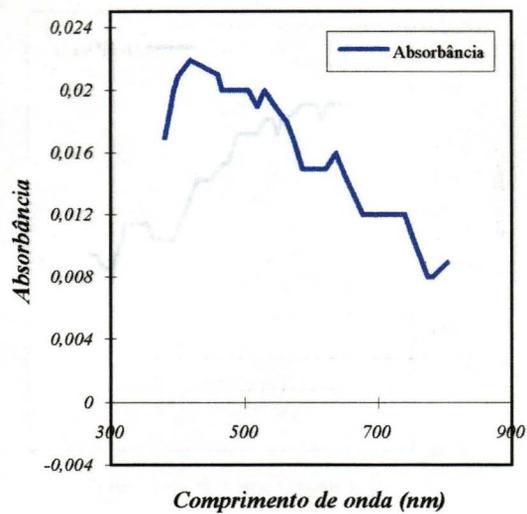


6,25 m
zona afótica

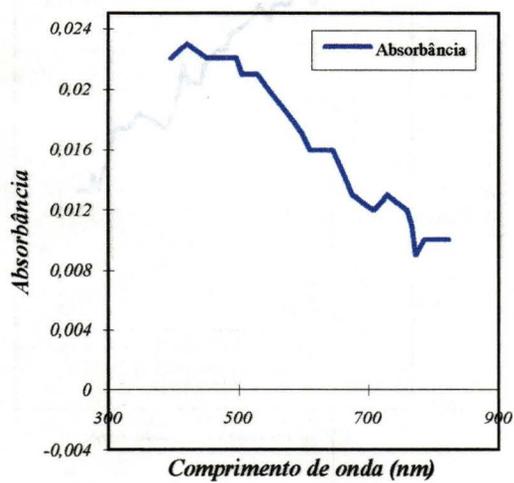
12:00h



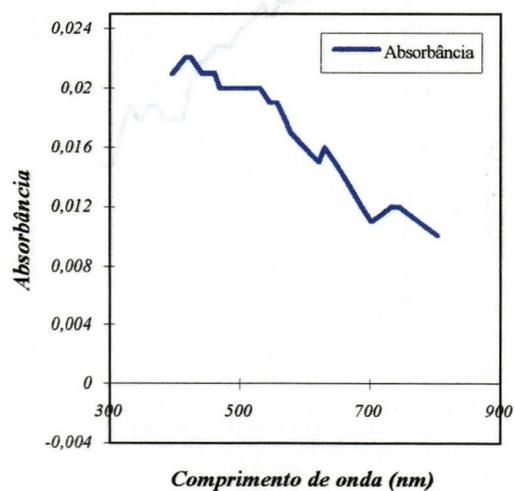
0,0 m
100% de I_0



1,25 m
45% de I_0

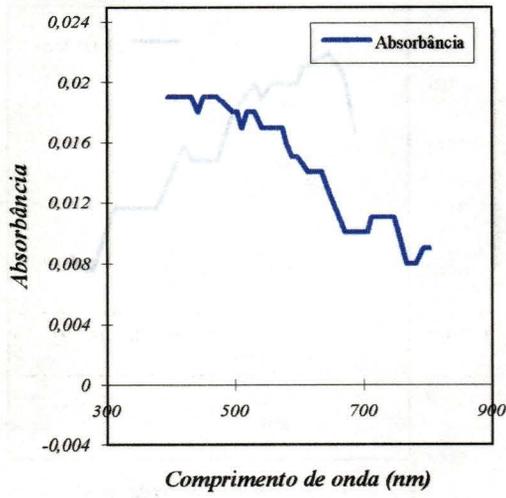


5,25 m
1% de I_0

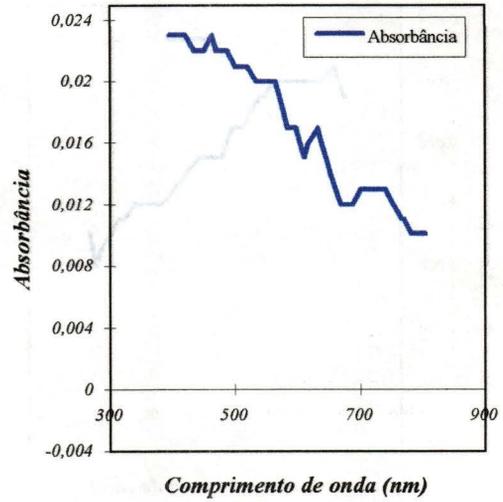


6,25 m
zona afótica

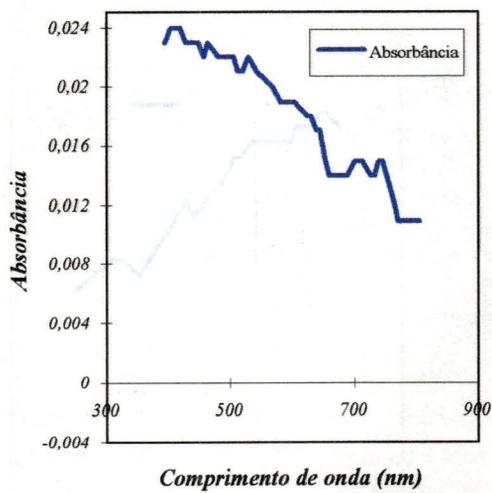
15:00h



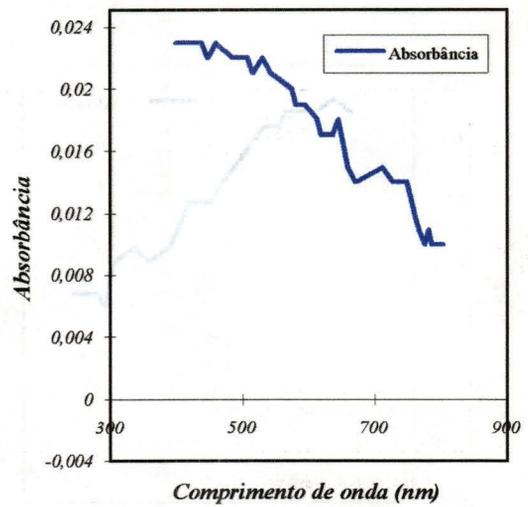
0,0 m
100% de I_0



0,75 m
53% de I_0



5,0 m
1% de I_0

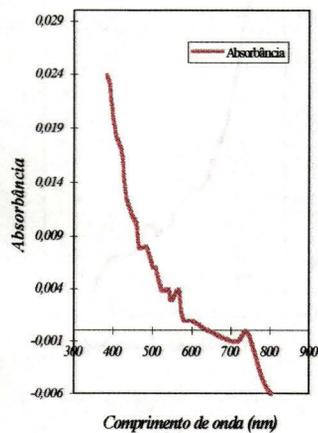


6,25 m
zona afótica

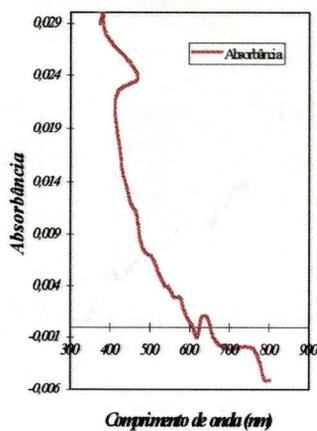
Represa de Lobo, Ponto B, em 04/03/96

Período chuvoso: Verão

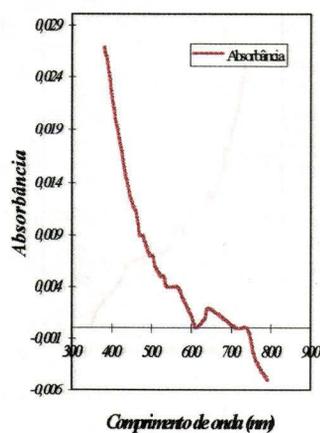
9:00h



0,0 m
100% de I_0

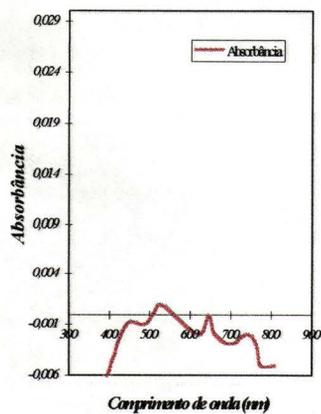


0,75 m
29,0% de I_0

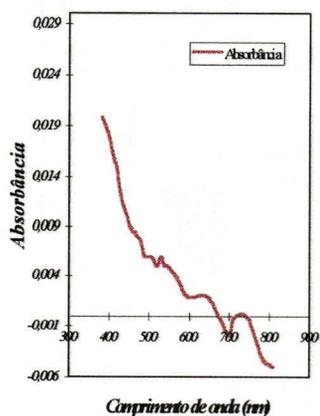


1,0 m
17,0% de I_0

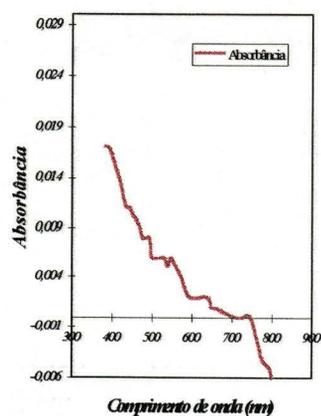
12:00h



0,0 m
100% de I_0

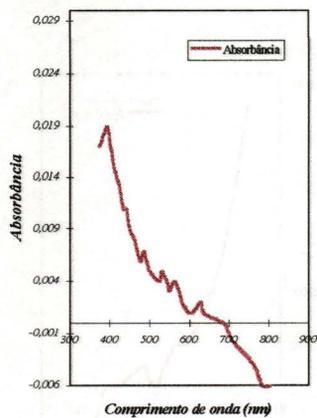


0,50 m
35,0% de I_0

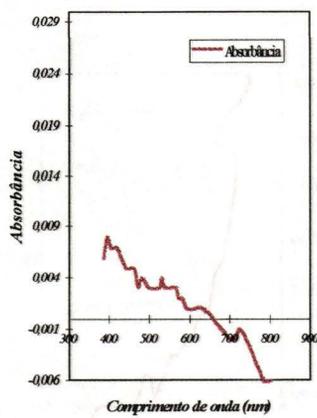


1,0 m
8,0% de I_0

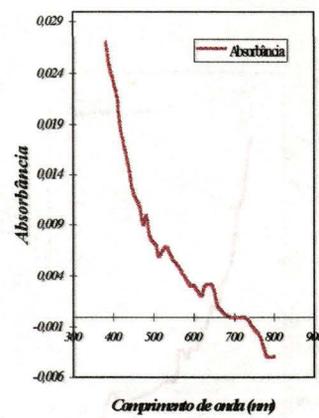
15:00h



0,0 m
100% de I_0



0,25 m
37,0% de I_0

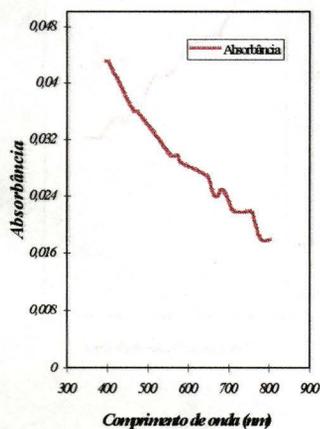


1,0 m
5,0% de I_0

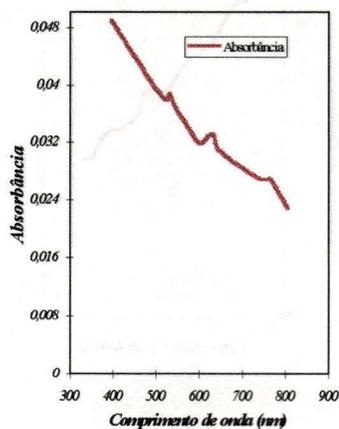
Represa de Lobo, Ponto B, em 30/09/96

Período seco: Inverno

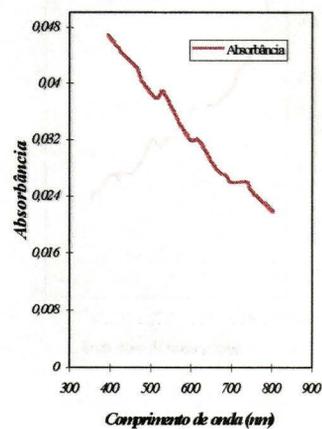
9:00h



0,0 m
100% de I_0

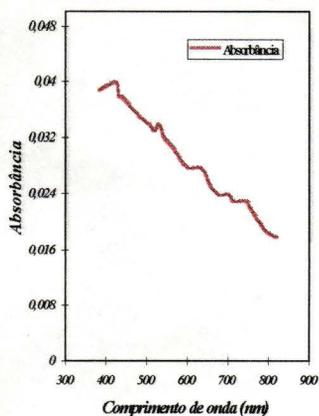


0,50 m
44,0% de I_0

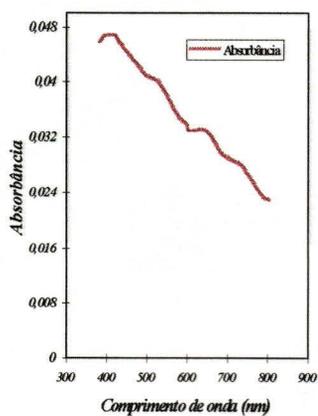


1,0 m
16,0% de I_0

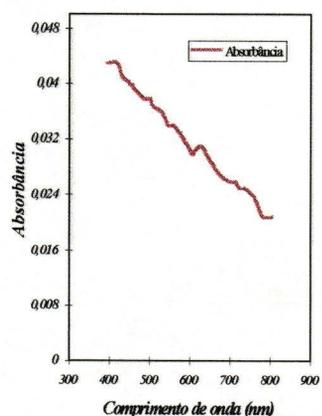
12:00h



0,0 m
100% de I_0

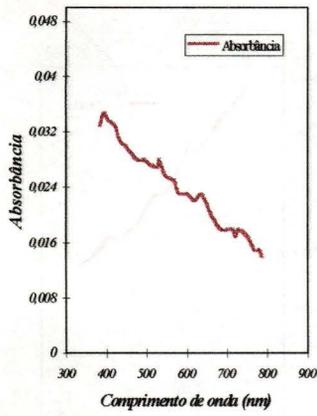


0,50 m
55,0% de I_0

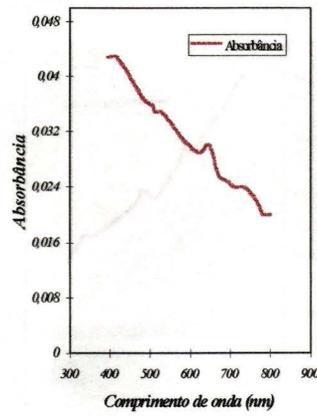


1,0 m
26,0% de I_0

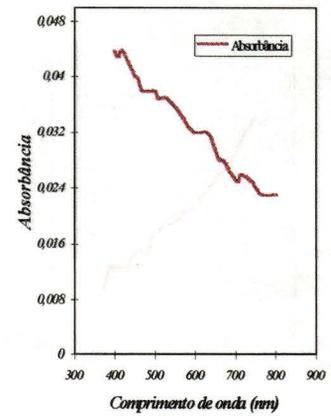
15:00h



0,0 m
100% de I_0



0,50 m
39,0% de I_0



1,0 m
19,0% de I_0