

# Relação entre profundidade Secchi e fator de reflectância da água de ambientes aquáticos lênticos em Cachoeira Paulista, SP.

MAURICIO ALMEIDA NOERNBERG<sup>1</sup>  
ANTONIO CAETANO VAZ CALTABIANO<sup>1</sup>  
ELISA MARIA VAZ MAGNI FERREIRA<sup>1</sup>  
JOÃO DILERMANDO C. GONÇALVES JÚNIOR<sup>1</sup>  
CAROLINA RODRIGUES DA COSTA DORIA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP - Brasil  
{malmeida, caetano, elisa, jdcgj, carol}@ltid.inpe.br

**Abstract:** The objective of this study is to assess the relationship between water reflectance and attenuated electromagnetic radiation measured as Secchi disk depth. Six small lagoons located at INPE, Cachoeira Paulista - SP, were sampled. Radiometric data were obtained in the 400-900 spectral range using a SPECTRON 590, at a relative azimuthal angle of 90 degrees. The curve of the reflectance factor was related to the variation of the transparency measured with colored Secchi disks: white, blue, green and red. The concentration of suspended sediments was measured for each lagoon and correlated with first and second derivatives of the spectra. The results obtained fell within the expected variation of absorption and scattering for water bodies. This preliminary study suggests that a relationship exists between optical the concentration of suspended sediments, the transparency of the different Secchi disks and the apparent optical properties of water.

**Keywords:** Secchi disk, reflectance factor, suspended sediments

## 1 Introdução

A transparência da água pode ser avaliada através de medições de profundidade do disco de Secchi. Este método simples é bastante utilizado para avaliar, ainda que grosseiramente, o coeficiente de atenuação da radiação eletromagnética (REM) na coluna d'água, e estabelecer, com certas limitações, uma correspondência entre a transparência da água, a profundidade Secchi e o limite da zona eufótica (profundidade na qual a irradiância corresponde a 1% da irradiância logo abaixo da superfície) (Kirk, 1983).

O comportamento espectral da água é caracterizado por apresentar baixos valores de radiância, e por uma pequena parte desta radiância, medida pelo sensor, conter informações sobre a água propriamente dita. O estudo do comportamento espectral da água concentra-se, principalmente, na faixa espectral correspondente à faixa da radiação fotossinteticamente ativa, entre 350 e 700 nm.

O fator de reflectância representa a razão entre a radiância do corpo d'água e a de uma referência padrão lambertiana, nas mesmas condições de iluminação e observação (Milton, 1987). A porção relativa da radiância detectada pelo sensor irá variar conforme a geometria de visada, e as propriedades ópticas inerentes e aparentes da água (Novo et al., 1989b).

Os componentes da água responsáveis por suas propriedades ópticas inerentes são: o material orgânico e inorgânico dissolvido, particulado e em suspensão, o material fitoplanctônico e as macrófitas aquáticas. Estes componentes atuam como agentes espalhadores e absorvedores de radiação, influenciando na transmissão da radiação eletromagnética através da coluna d'água e, consequentemente, na produtividade primária.

O estudo do impacto das variações de concentração dos componentes opticamente ativos da água, em especial a clorofila e sólidos em suspensão, sobre a assinatura espectral da água, através de sensoriamento remoto, é de grande auxílio para o estabelecimento de técnicas para avaliação do estado trófico e produtividade de águas superficiais (Han et al., 1994).

Goodim et al. (1993) utilizaram espectros de derivação de primeira e segunda ordens para distinguir os efeitos de turbidez e estimar qualitativamente a concentração de clorofila sobre a assinatura espectral da água.

O objetivo do presente trabalho foi o de estabelecer relações entre a atenuação da radiação eletromagnética, avaliada através de medidas de profundidade Secchi, e as medidas do fator de reflectância em vários corpos d'água, procurando identificar, através da derivação das curvas de assinatura espectral, as bandas de absorção relacionadas à clorofila.

## 2 Metodologia

### 2.1 Descrição da área de estudo

As medições de campo foram realizadas em seis reservatórios existentes nas dependências do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em Cachoeira Paulista, S.P.

Os reservatórios denominados “Tanque 1” e “Tanque 2” são de pequena dimensão e com fertilização natural através de pocilgas, destinados ao cultivo de peixes, onde a água apresentou-se com uma tonalidade amarronzada. Já o “Reservatório dos Peixes” possui em sua margem vegetação rasteira e pequenos arbustos; sua água tem um tom marrom, levemente esverdeado. O “Reservatório do Lúmen” possui água transparente e margens com muita vegetação, sendo que o fundo é coberto de macrófitas.

Os dois reservatórios de maior dimensão são o “Reservatório do Horto”, que possui uma coloração muito escura, com margens inclinadas e sem vegetação, o que ocasiona aporte de material para o interior do reservatório, e o “Reservatório do Restaurante”, o qual possui uma coloração esverdeada e com margens contendo vegetação abundante.

### 2.2 Materiais e método

As medidas de profundidade Secchi foram tomadas utilizando-se quatro discos de Secchi, de cores diferentes (azul, verde, vermelho e branco).

Para as medidas radiométricas dos reservatórios, foi utilizado o espectrorradiômetro Spectron SE-590 acoplado a um tripé que foi instalado sobre um bote. Utilizaram-se duas unidades detetoras simultaneamente: uma direcionada para o alvo, com abertura de 6° e polarizador, e a outra direcionada para a placa de referência de campo. As medidas finais do fator de reflectância são a média de três medições nas mesmas condições. Durante as medições foi mantido um ângulo azimutal relativo de aproximadamente 90°.

Também foram realizadas medidas radiométricas dos discos de Secchi para a especificação colorimétrica dos mesmos, conforme apresentado na Tabela 1, a fim de proceder a comparação da cor da água dos reservatórios e o valor de transmitância indicada pelos discos.

Na etapa de laboratório foi utilizado o programa Espectro, desenvolvido pelo Laboratório de Radiometria do INPE (LARAD/INPE), para a obtenção das curvas de fator de reflectância e das derivadas de primeira e segunda ordens. Também foi realizada a análise da concentração de sólidos em suspensão (tabela 2), através de amostras de água coletadas em cada um

dos reservatórios no momento das medições radiométricas.

## 3 Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta as curvas das assinatura espectral dos diferentes reservatórios e as derivações de primeira e segunda ordem feitas a partir dessas curvas.

A assinatura espectral relativa ao reservatório do Horto não apresenta semelhança com espectros de reflectância em geral observados para corpos d'água. Desta forma, supõe-se que o comportamento verificado esteja mais relacionado às condições de medida inadequadas ou às variações ambientais (maior rugosidade da superfície devido a ventos mais fortes e/ou instabilidade da embarcação) verificadas no momento da aquisição dos dados ou, ainda, a problemas no equipamento.

Observa-se um padrão de absorção típico para os pigmentos clorofila e feofitinas nas regiões do azul (450 a 500 nm) e do vermelho (600 a 700 nm) em todos os reservatórios, confirmando os resultados verificados por Sathyendranath et al. (1987), Novo e Pires (1990) e Topinka et al. (1990), seguido de um pequeno pico de reflectância provavelmente associado à emissão fluorescente da clorofila em torno de 680 nm, conforme relatado por Morel e Prieur (1977). Este padrão só não confirmou-se para o reservatório do Horto. Os maiores valores de reflectância, na faixa entre 500 e 600 nm, estão associados ao sedimento em suspensão encontrado na água dos reservatórios (Kirk, 1983; Oshchepkov e Shlyakhova, 1990; Quibell, 1991), em especial nos tanques 1, 2 e reservatório dos Peixes, onde encontram-se as maiores concentrações. Nestes ambientes, os efeitos da concentração de pigmentos, na faixa do verde, são mascarados, sendo que os picos de reflectância centrados em torno de 550 nm apresentam-se mais alargados, enquanto que nos reservatórios com concentrações menores de sedimento em suspensão (Lúmen e Restaurante), o pico de reflectância é mais estreito e definido a 550 nm.

Em todos os ambientes pode ser observado um pico de reflectância em torno de 760 nm associado provavelmente a um aumento do espalhamento devido a partículas de sedimentos de menores tamanhos (Novo et al., 1989a), além de ser uma região com pico de absorção da água pura (Quibell, 1991).

Comparando-se as curvas de 1ª derivação, verificam-se valores absolutos maiores para os tanques 1, 2 e Peixes, próximos a 550 e 700 nm. Este padrão permanece, mesmo para os demais ambientes, especialmente nas curvas de 2ª derivação. Este fato indica altas concentrações de sedimentos em suspensão.

Quibell (1991) sugere que a diferença entre os valores absolutos do fator de reflectância a 710 e 660 nm possui relação com a concentração de clorofila.

Segundo Goodim et al. (1993), a diferença dos valores absolutos da curva de 2ª derivação em 660 e 695 nm também possui forte relação com o conteúdo de clorofila, em especial quando a concentração de sólidos em suspensão é baixa.

Os dois procedimentos foram verificados e os resultados podem ser observados na tabela 3. Nos valores de diferença pela derivada de segunda ordem, verificou-se uma tendência de que, nos ambientes de maior concentração de sedimento em suspensão, as concentrações de clorofila também seriam maiores. É conveniente lembrar que nos tanques 1 e 2 ocorre fertilização natural através de pocilgas e faz com que o sedimento em suspensão de origem orgânica seja predominante, possibilitando, assim, uma maior concentração de clorofila.

Quando avalia-se os reservatórios em função da profundidade Secchi e da associação desta com o fator de reflectância, é possível notar uma semelhança de comportamento entre alguns reservatórios, em especial entre os tanques 1 e 2, os quais apresentam valores de fator de reflectância elevados e baixos valores de profundidade Secchi, associados com grande quantidade de sólidos em suspensão, bem como entre os reservatórios do Restaurante e dos Peixes (figura 2).

Em geral, o disco vermelho alcançou maiores valores de profundidade, seguido do disco verde e do azul, que alcançou os menores valores. Apenas nos reservatórios do Horto e Restaurante o disco branco superou as medidas do disco vermelho (tabela 4).

O reservatório do Lúmen apresenta baixíssimos níveis de sólidos em suspensão, baixos valores de fator de reflectância e altos valores de profundidade Secchi, sendo que durante a medição todos os discos tocaram o fundo, sendo ainda, possível a visualização dos mesmos.

A análise do comportamento das medidas de profundidade Secchi, para os diferentes discos, sugere que a associação dos menores valores de profundidade ao disco azul seguido do disco verde e do vermelho esteja relacionada à pouca penetração do comprimento de onda azul e verde na água em relação ao vermelho, ou seja, à maior atenuação da radiação eletromagnética decorrente da atenuação da radiação azul e verde pela clorofila e os sedimentos em suspensão. Segundo Jerome et al. (1994), dentre os fatores envolvidos na determinação da cor nas águas naturais, foi possível verificar o papel competitivo da concentração de sólidos em suspensão e da clorofila na determinação do comprimento de onda dominante na cor da água. Valores medianos de concentração destes componentes, atuando simultaneamente ou não, resultam em um comprimento de onda dominante acima de 550 nm, o que pode ser associado aos maiores valores de profundidade Secchi para o disco vermelho. Além

disso, verifica-se que esse disco apresenta um albedo acentuadamente maior.

Verificou-se que o disco verde está associado aos maiores valores de reflectância. A isto pode-se inferir o fato dos sedimentos refletirem com maior intensidade na faixa verde do espectro, como observado nas curvas de fator de reflectância. Os menores valores de reflectância da água, associados às medidas do disco azul, por sua vez, podem ser relacionados à maior atenuação da radiação eletromagnética por absorção pelos sedimentos e pela clorofila, nesta faixa do espectro.

#### **4 Conclusões**

Os dados apresentados neste trabalho devem ser confirmados através do aumento do número de estações de campo que possibilitem um tratamento estatístico consistente dos dados obtidos, e também a medição de outros parâmetros como: clorofila, feopigmentos e substâncias húmicas.

Contudo, foi possível avaliar o comportamento espectral da água, em especial na região do visível, relacionando a profundidade Secchi à gradientes de atenuação da REM, os quais refletem na variação das medidas do fator de reflectância da água.

Uma transparência relativamente baixa foi associada ao disco de cor azul e a maiores valores de reflectância, altas concentrações de sólidos em suspensão e provavelmente maior espalhamento da REM.

A relação inversa entre a concentração de clorofila e a profundidade Secchi, relatada na literatura para águas eutróficas, foi também verificada neste experimento (Lorenzen, 1980; Carlson, 1980; Moigis, 1989).

As maiores profundidades Secchi refletem uma maior penetração da radiação eletromagnética na água, estando relacionadas às menores concentrações de sólidos em suspensão e clorofila.

As bandas típicas de absorção e fluorescência da clorofila (vermelho) foram bem evidenciadas.

As curvas de derivação originam espectros que parecem associar-se à presença de componentes orgânicos e inorgânicos que afetam a atenuação da radiação incidente na água e, especificamente, o espectro da derivada de segunda ordem mostra uma tendência em indicar, qualitativamente, a concentração de clorofila, sem interferência dos sedimentos em suspensão.

#### **Agradecimentos**

Os autores expressam seus agradecimentos à Dra. Evlyn M. de Moraes Novo pelo apoio e orientação na realização deste trabalho.

## Referências

Carlson, R.E. More complications in the chlorophyll-secchi disk relationship. **Limnology and Oceanography**, **25**(2):379-382, 1980.

Edmondson, W.T. Secchi disk and chlorophyll. **Limnology and Oceanography**, **25**(2):373-377, 1980.

Goodim, D.G.; Han, L.; Fraser, R.N.; Rundquist, D.C. and Stebbins, W.A. Analysis of suspended solids in water using remotely sensed high resolution derivative spectra. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, **59**(4):505-510, 1993.

Han, L.; Rundquist, D.C.; Liu, L.L.; Fraser, R.N. and Schalles, J.F. Spectral responses of algal chlorophyll. **Int. J. Remote Sensing**, **15**(18): 3707-3718, 1994.

Jerome, J.H.; Bukata, R.P.; Whitfield, P.H. and Rousseau, N. Colours of natural waters: 1. Factors controlling the dominant wavelength. *Northwest Sci.*, **68**(1):43-52, 1994.

Kirk, J.T.O. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. University Press, Cambridge, 1983. 401p.

Lorenzen, M.W. Use of chlorophyll-secchi disk relationships. **Limnology and Oceanography**, **25**(2):371-372, 1980.

Milton, E.J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**, **8**(12):1807-1827, 1987.

Moigis, A.G. A note in the comparison of the variation of the Secchi depth in the gulf trench of Cariaco and gulf of Paria, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*:(1 e 2):57-66, 1989.

Morel, A. & Prieur, L. Analysis of variations in ocean color. **Limnology and oceanography**, **22**(4):709-722, 1977.

Novo, E.M.M., Hansom, J.D. and Curran, P.J. The effect of sediment type on the relationship between reflectance and suspended sediment concentration. **International Journal of Remote Sensing**, **10**(7):1283-1289, 1989.

Novo, E.M.M., Hansom, J.D. and Curran, P.J. The effect of viewing geometry and wavelength on the relationship between reflectance and suspended sediment concentration. **International Journal of Remote Sensing**, **10**(8):1357-1372, 1989.

Novo, E.M.M.; Pires, J.S. Sensoriamento remoto e limnologia: Estudos preliminares do reservatório da UHE Tucuruí. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6, Manaus, 1990. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1990, V.2, p. 497-504.

Oshchepkov, S.L.; Shlyakhova, L.A. Estimating suspended-matter concentrations in oligo- and eutrophic

water bodies using remotely sensed reflectances. **Soviet Journal Remote Sensing**, **6**(2):246-258, 1990.

Quibell, G. The effect of suspended sediment on reflectance from freshwater algae. **International Journal of Remote Sensing**, **12**(1):177-182, 1991.

Sathyendranath, S.; Lazzara, L.; Prieur, L. Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton. **Limnology and Oceanography**, **32**(2):403-415, 1987

Topinka, J.A.; Bellows, W.K.; Yentsch, C.S. Characterization of marine macroalgae by fluorescence signatures. **International Journal of Remote Sensing**, **11**(12):2329-2335, 1990.

Tabela 1 - Especificação colorimétrica dos discos de Secchi.

Disco	Brilho %	Pureza %	Comp. Onda Dominante
Branco	90.1	7.5	575 nm
Azul	1.6	74.8	472 nm
Verde	4.2	31.0	516 nm
Vermelho	11.7	79.0	613 nm

Tabela 2 - Concentração de sólidos em suspensão, clorofila e feofitinas.

Reservatórios	Sólidos Susp. (mg/l)
Tanque 1	32,016
Tanque 2	32,484
Peixes	18,312
Horto	9,628
Lúmen	4,256
Restaurante	14,652

Tabela 3 - Valores das diferenças para determinação qualitativa da concentração da clorofila.

Reservatório	R(710) - R(660)	$f''(660) - f''(695)$ (1/nm <sup>2</sup> )
	Quibell (1991)	Goodim et al. (1993)
Horto	0,07418	0,00056
Lumen	-0,01909	0,00025
Restaurante	-0,03158	0,00093
Peixes	-0,02276	0,00210
Tanque 1	-0,01593	0,00306
Tanque 2	-0,03341	0,00295

Tabela 4 - Profundidade Secchi nos diferentes reservatórios.

Reservatório	Profundidade Disco Azul (m)	Profundidade Disco Verde (m)	Profundidade Disco Verm. (m)	Profundidade Disco Branco (m)
Tanque 1	0.30	0.40	0.50	0.40
Tanque 2	0.30	0.35	0.50	0.40
Peixes	0.51	0.53	0.72	0.70
Horto	0.70	0.85	1.45	1.90
Lúmen	2.60	2.60	2.60	2.60
Restaurante	0.67	0.70	0.97	1.00

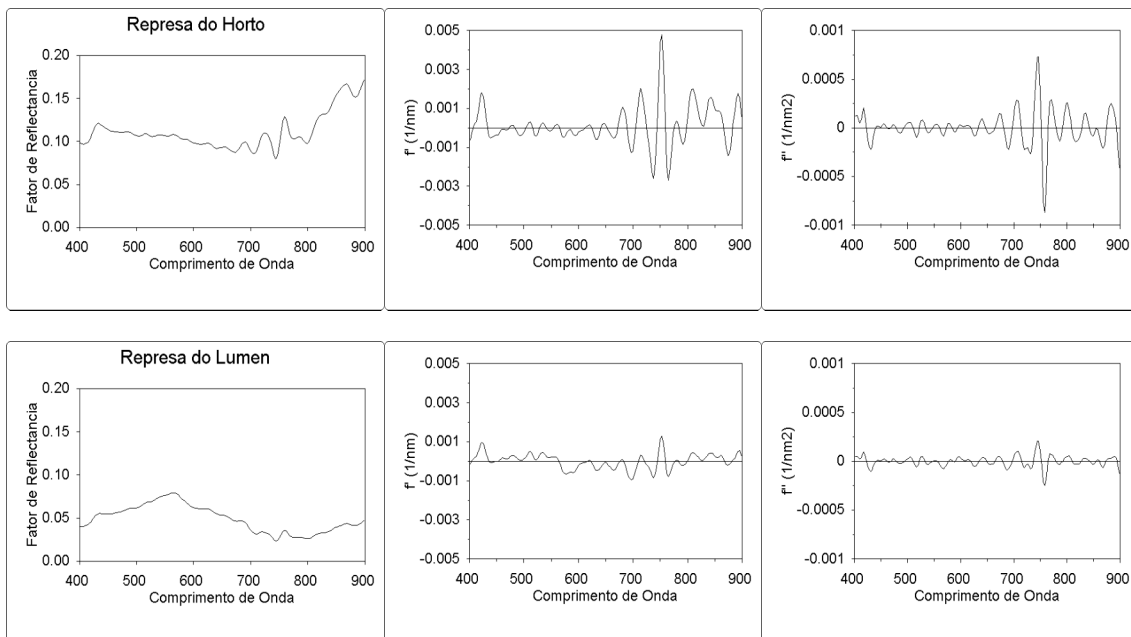


Figura 1 - Assinaturas e curvas espectrais de 1ª e 2ª derivação dos reservatórios.

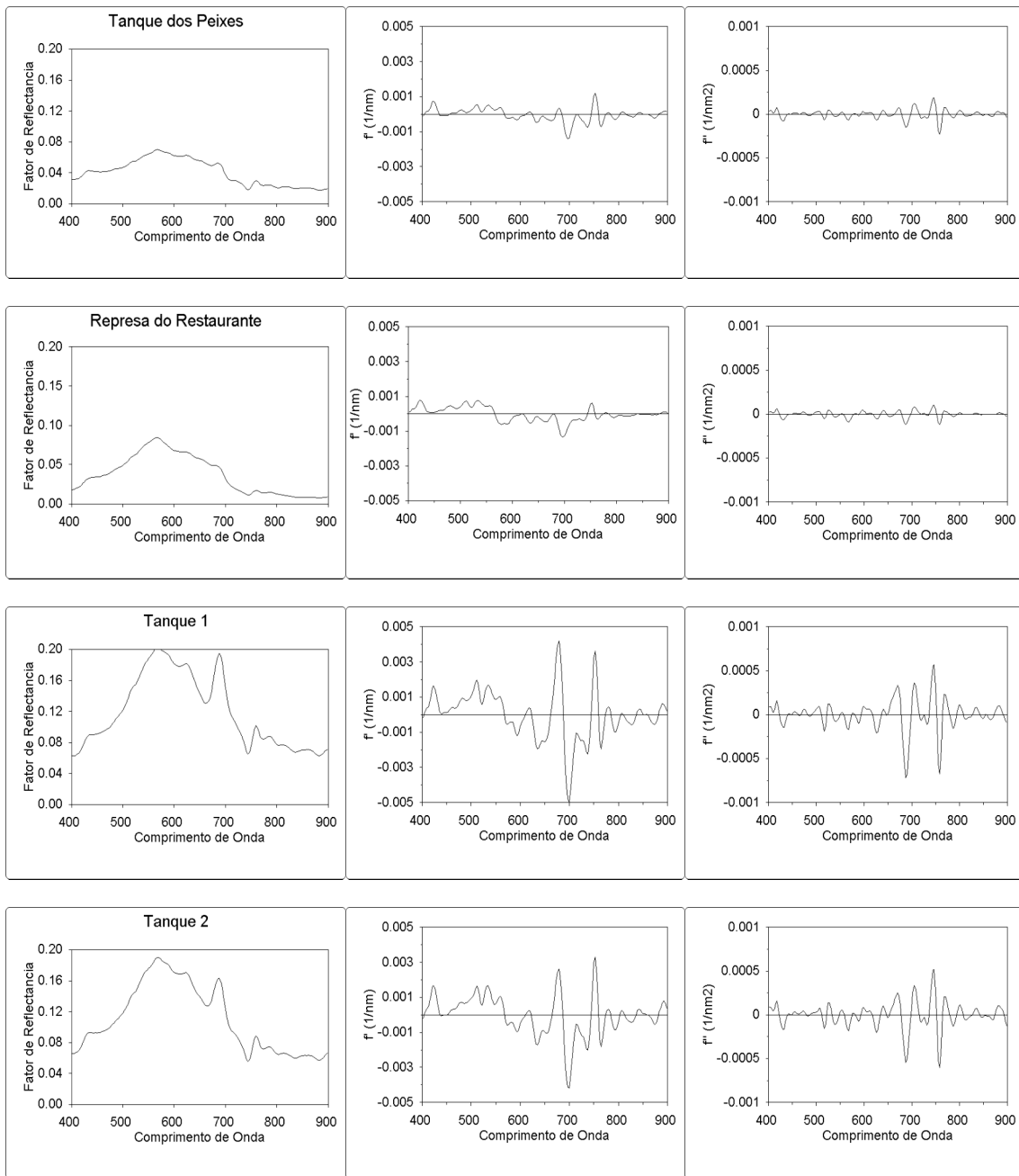


Figura 1 - Assinaturas e curvas espectrais de 1ª e 2ª derivação dos reservatórios. (continuação)

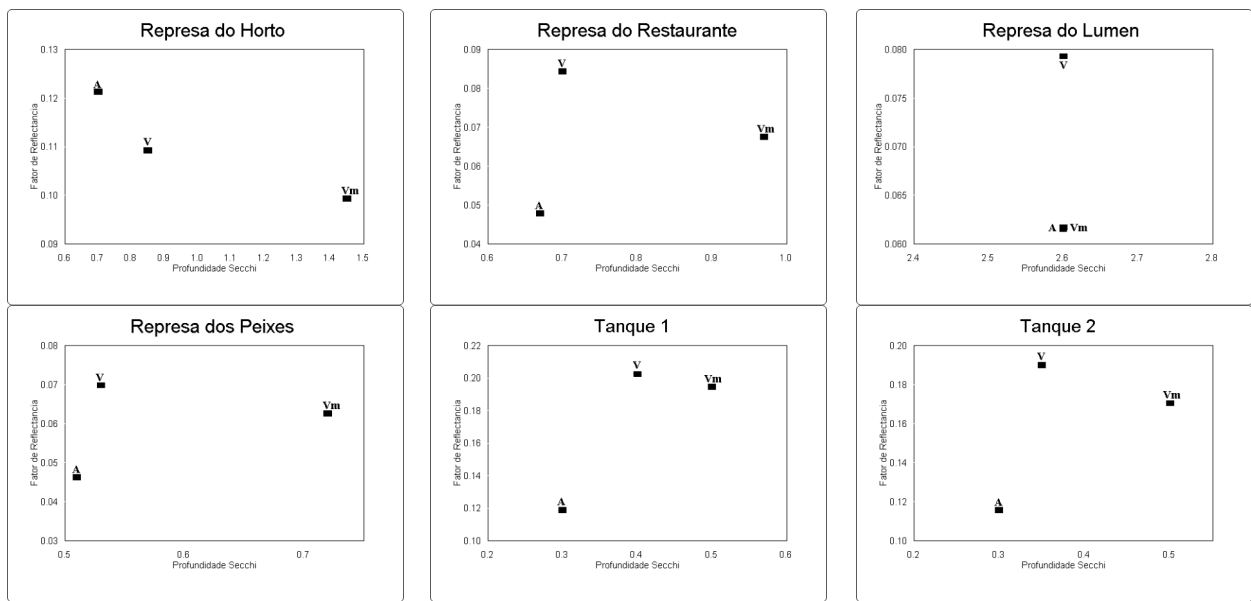


Figura 2 - Relação entre o fator de reflectância e a profundidade Secchi nos reservatórios: (A) disco azul, (V) disco verde, (Vm) disco vermelho. O fator de reflectância utilizado para cada cor corresponde ao valor no comprimento de onda dominante.