

UMA ANÁLISE DIAGNÓSTICA SOBRE O MÉTODO DELTA-EDDINGTON PARA AVALIAÇÃO DE IRRADIÂNCIAS

Demerval Soares Moreira ^(1, 2), Artemio Plana-Fattori ⁽¹⁾ e Juan Carlos Ceballos ⁽³⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ciências Atmosféricas – IAG – USP

⁽²⁾ Aluno de Pós-Graduação (Mestrado em Meteorologia), bolsista FAPESP

⁽³⁾ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC – INPE

Abstract

The reliability of the Delta-Eddington method for computing shortwave irradiances in plane-parallel atmospheres is discussed from comparisons with benchmark calculations under specified conditions. Two different choices were adopted for the fractional scattering into the forward peak, the key parameter in this method. The application of these choices provided almost the same absorptances, and associated to very similar systematic errors. These results indicate that such systematic errors would be related mainly to the basic assumptions of the Delta-Eddington method, like the suppression of high-order moments of the phase function in estimating the backscattering of sun direct radiation.

1. Introdução

A obtenção de previsões de tempo e de projeções climáticas com o emprego de modelos numéricos requer a adoção de representações para os processos físicos envolvidos que sejam capazes de fornecer soluções acuradas a um custo computacional aceitável. Neste contexto, considerável esforço tem sido dedicado à busca de representações satisfatórias para a propagação de radiação solar e de radiação terrestre na atmosfera, dada sua complexidade (Stephens, 1984). A avaliação do impacto de camadas de nuvem na propagação de radiação solar tem sido efetuada na maioria dos casos com o método Delta-Eddington (Joseph et al., 1976). Este estudo analisa diferentes aspectos relacionados à aplicação deste método, indicando possíveis soluções para suas deficiências.

2. Método Delta-Eddington

Métodos dois-fluxos para obtenção de irradiâncias (W/m^2) numa atmosfera plano-paralela têm como origem versões particulares da equação de transferência radiativa (Ceballos, 1988). A aplicação destes métodos envolve duas equações diferenciais (Meador & Weaver, 1980; Zdunkowski et al., 1980):

$$\frac{d}{d\tau} F^-(\tau, \mu_o) = \gamma_1 F^-(\tau, \mu_o) - \gamma_2 F^+(\tau, \mu_o) - F_o \varpi \gamma_3 \exp(-\tau / \mu_o) \quad (1a)$$

$$\frac{d}{d\tau} F^+(\tau, \mu_o) = \gamma_2 F^-(\tau, \mu_o) - \gamma_1 F^+(\tau, \mu_o) + F_o \varpi (1 - \gamma_3) \exp(-\tau / \mu_o), \quad (1b)$$

onde irradiâncias difusas ascendentes (F^+) e descendentes (F^-) são definidas a partir de integrações hemisféricas sobre a média azimutal da radiância difusa; τ indica a profundidade óptica da atmosfera num dado nível de interesse, μ_o o cosseno da distância zenital solar, ϖ o albedo simples correspondente à população de partículas presente neste nível que interage com radiação do comprimento de onda considerado, e F_o a irradiância espectral solar direta numa superfície normal à incidência no topo da atmosfera. Coeficientes γ_i constituem funções de μ_o , de ϖ e do fator de assimetria g da função de fase envolvida.

A hipótese básica do método Eddington reside na supressão dos momentos de ordem igual ou superior a dois da média azimutal da radiância difusa; por conveniência, diversos autores têm suprimido os mesmos momentos da função de fase (Ceballos, 1988). O método Delta-Eddington representa uma

adaptação do anterior, baseado no truncamento da função de fase na região de seu pico de pró-espalhamento; os efeitos deste pico são adicionados à transmitância direta, fazendo com que o meio atravessado esteja associado a profundidades ópticas menores e a uma função de fase menos assimétrica, diminuindo as desvantagens inerentes ao método Eddington com vistas à obtenção de fluxos radiativos (Joseph et al., 1976). Neste contexto, as seguintes substituições devem ser operadas:

$$\tau \Rightarrow \tau' = (1 - \varpi f) \tau \quad (2a)$$

$$\varpi \Rightarrow \varpi' = \varpi(1 - f) / (1 - \varpi f) \quad (2b)$$

$$g \Rightarrow g' = (g - f) / (1 - f) \quad (2c)$$

sendo f o “peso” associado à representação do pico de pró-espalhamento na forma de uma função Delta de Dirac (Joseph et al., 1976). No âmbito da implementação do método Delta-Eddington em modelos numéricos, este parâmetro tem sido avaliado em termos do segundo momento da verdadeira função de fase ($f = C_2$) (Coakley et al., 1983), ou do segundo momento da respectiva função de fase Henyey-Greenstein ($f = g^2$) (Joseph et al., 1976).

3. Resultados

A qualidade dos métodos Eddington, Delta-Eddington- g^2 e Delta-Eddington- C_2 é analisada neste estudo considerando-se uma camada homogênea iluminada por um feixe colimado de radiação com comprimento de onda $\lambda = 0,754 \mu\text{m}$ orientado segundo μ_0 , contendo apenas gotículas de nuvem do tipo *Fair Weather Cumulus* (FWC), especificado por Hansen (1971). Os respectivos valores de g ($= 0,842$) e de C_2 ($= 0,770$) foram calculados a partir do procedimento descrito por Plana-Fattori & Ceballos (1998). As equações (1a) e (1b) foram resolvidas considerando-se as condições de contorno $F^-(\tau=0, \mu_0) = 0$ (ausência de radiação difusa descendente no topo da camada) e $F^+(\tau=\tau_s, \mu_0) = 0$ (solo negro), obtendo-se como resultado a refletância, a transmitância global e a absorptância desta camada:

$$r(\mu_o) = F^+(\tau=0, \mu_o) / (\mu_o F_o) \quad (3a)$$

$$t(\mu_o) = \exp(-\tau_s / \mu_o) + F^-(\tau=\tau_s, \mu_o) / (\mu_o F_o) \quad (3b)$$

$$a(\mu_o) = 1 - r(\mu_o) - t(\mu_o) . \quad (3c)$$

Os resultados assim obtidos foram comparados com seus respectivos valores de referência obtidos por King & Harshvardhan (1986a, 1986b) com o método *adding-doubling*, e colocados gentilmente à nossa disposição por aqueles autores. A acurácia dos métodos Eddington, Delta-Eddington- g^2 e Delta-Eddington- C_2 é analisada a seguir apenas em termos da absorptância da camada, na medida em que os erros envolvidos em sua avaliação resultam da não compensação entre aqueles relacionados à obtenção da refletância e da transmitância global.

As Figuras 1 e 2 apresentam, respectivamente para $\varpi = 0,99$ e $\varpi = 0,80$, desvios absolutos e relativos associados às absorptâncias obtidas através dos três métodos em função da profundidade óptica τ_s da camada e do cosseno μ_0 da distância zenital solar. A importância de se apresentar tanto desvios absolutos como relativos decorre do fato de que a ordem de grandeza da absorptância varia consideravelmente com o albedo simples, assumindo valores tais como 0,03 e 0,40 respectivamente para $\varpi = 0,99$ e $\varpi = 0,80$ sob a condição $\tau_s = 1$, $\mu_0 = 0,5$. Nestas figuras, as tonalidades mais escuras indicam maior qualidade do respectivo método, sendo que regiões brancas correspondem a desvios relativos com magnitude superior a 20 %. Os diagramas relativos aos métodos Eddington e Delta-Eddington- g^2 são quase idênticos aos apresentados por King & Harshvardhan (1986b); o segundo

método tende a fornecer melhores resultados, proporcionando absortâncias sujeitas a desvios absolutos da ordem ou abaixo de 0,02 desde que $\mu_0 > 0,2$ (elevações solares inferiores a 12°).

Os diagramas inferiores das Figuras 1 e 2 permitem comparar as duas variantes do método Delta-Eddington, ambas baseadas no truncamento analítico do pico de pró-espalhamento da função de fase, ambas identificando o segundo momento da função de fase como o próprio parâmetro f envolvido naquele truncamento, mas apenas uma delas considerando o verdadeiro valor (C_2) daquele momento. Neste caso os valores assumidos pelo parâmetro f são relativamente próximos ($g^2 \sim 0,710$ e $C_2 \sim 0,770$), justificando a semelhança entre os respectivos diagramas. A este respeito, Welch & Zdunkowski (1982) obtiveram valores similares para um outro modelo de gotículas de nuvem ($g^2 \sim 0,712$ e $C_2 \sim 0,777$). As Figuras 1 e 2 mostram que as duas variantes proporcionam absortâncias quase equivalentes entre si, sendo que os respectivos desvios em relação aos resultados de referência aumentam além de $\mu_0 \sim 0,2$ e em torno da condição $\tau_s = 1$, $\mu_0 = 0,5$. Este último resultado – presente nas absortâncias obtidas com o método Eddington – pode ser interpretado como consequência da supressão dos momentos da função de fase com ordem igual ou superior a dois, introduzindo erros sistemáticos importantes na avaliação do retro-espalhamento do feixe solar direto.

4. Conclusão e Perspectivas

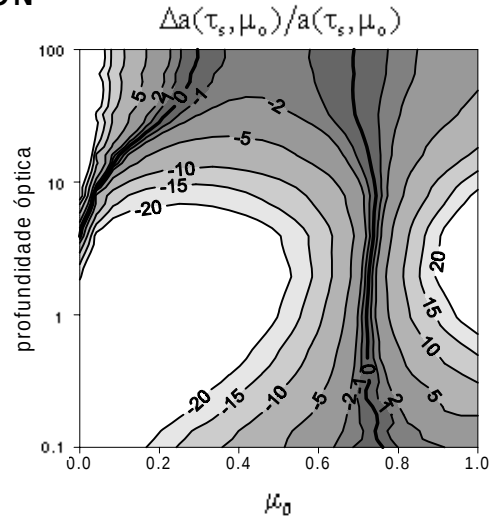
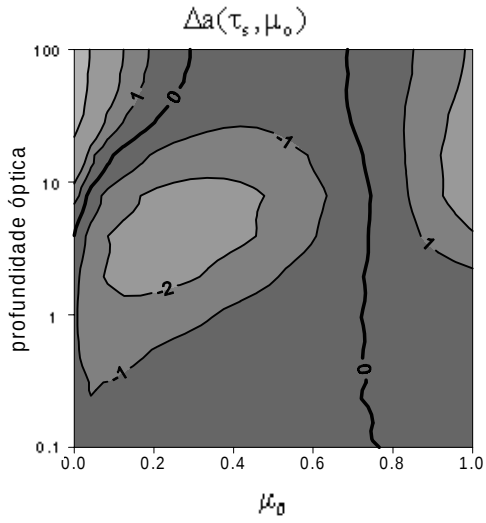
A contribuição deste estudo reside na comparação entre as duas variantes do método Delta-Eddington, em termos dos erros envolvidos na avaliação da absortância de uma camada com gotículas de nuvem. As poucas diferenças existentes entre os diagramas inferiores das Figuras 1 e 2 indicam que o método Delta-Eddington- C_2 fornece resultados associados a erros ligeiramente maiores àqueles obtidos com o Delta-Eddington- g^2 , embora fisicamente houvesse uma expectativa inversa (dada a inclusão do verdadeiro valor do segundo momento da função de fase). Conclui-se que as diferenças existentes entre os dois critérios analíticos para avaliação do parâmetro f não são suficientes para explicar os erros sistemáticos decorrentes da aplicação do método Delta-Eddington. Estes erros teriam provável origem nas hipóteses fundamentais do método: a supressão dos momentos de ordem dois ou superiores (a) para a média azimutal da radiância difusa e (b) para a função de fase envolvida. Etapas futuras deste nosso trabalho devem procurar relaxar esta última hipótese na avaliação do retro-espalhamento do feixe solar direto, bem como avaliar o parâmetro f a partir do comportamento suave apresentado pelo função de fase pouco além de seu pico de pró-espalhamento (Plana-Fattori & Ceballos, 1998).

Bibliografia

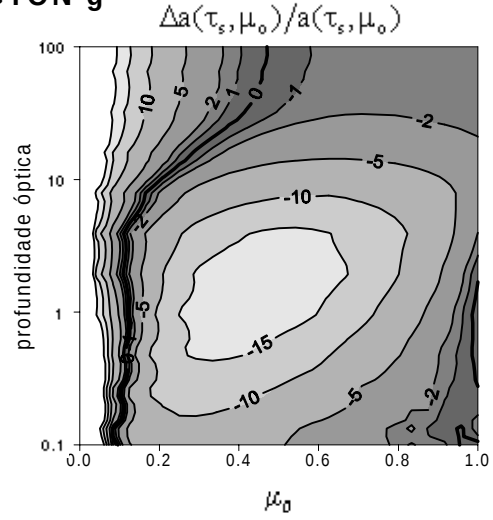
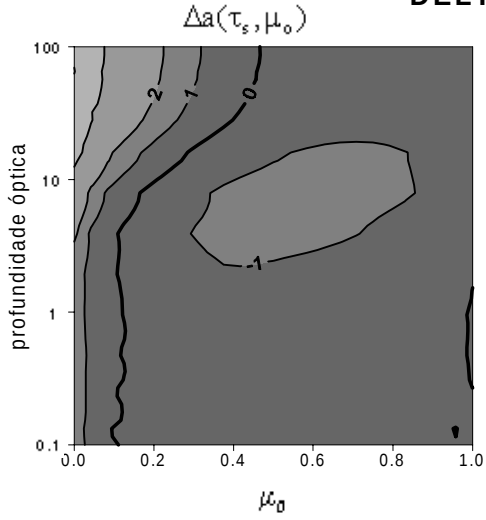
- Ceballos, J.C. – 1988 – *Beitr. Phys. Atmosph.*, **61**: 10-22.
- Coakley, J.A., Jr., R.D. Cess & F.B. Yurevich – 1983 – *J. Atmos. Sci.*, **40**: 116-138.
- Hansen, J.E. – 1971 – *J. Atmos. Sci.*, **28**: 1400-1426.
- Joseph, J.H., W. Wiscombe & J.A. Weinman – 1976 – *J. Atmos. Sci.*, **33**: 2452-2459.
- King, M.D. & Harshvardhan – 1986a – *J. Atmos. Sci.*, **43**: 784-801.
- King, M.D. & Harshvardhan – 1986b – NASA Reference Publication No.1160, 41pp.
- Meador, W.E. & W.R. Weaver – 1980 – *J. Atmos. Sci.*, **37**: 630-643.
- Plana-Fattori, A. & J.C. Ceballos – 1998 – (comunicação submetida à apresentação no *X Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Soc. Bras. Meteor., Brasília, DF, Brasil).
- Stephens, G.L. – 1984 – *Mon. Wea. Rev.*, **112**: 826-867.
- Welch, R.M. & W.G. Zdunkowski – 1982 – *Beitr. Phys. Atmosph.*, **55**: 28-42.
- Zdunkowski, W.G., R.M. Welch & G. Korb – 1980 – *Beitr. Phys. Atmosph.*, **53**: 147-166.

$$\omega = 0,99$$

EDDINGTON



DELTA-EDDINGTON- g^2



DELTA-EDDINGTON- C_2

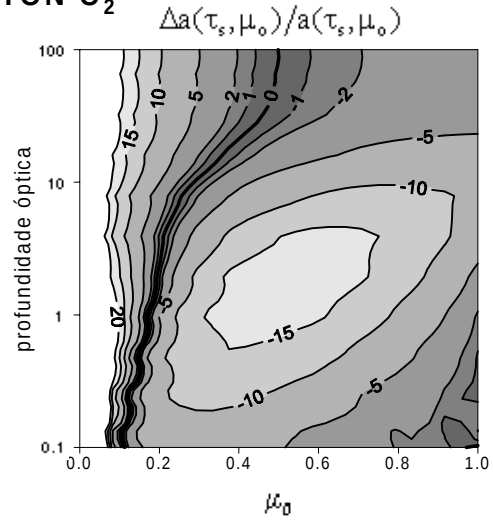
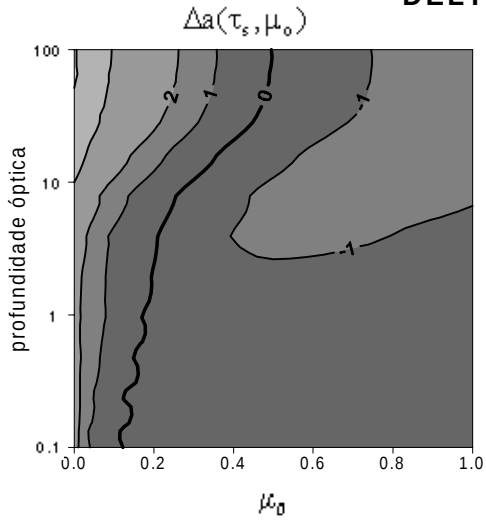
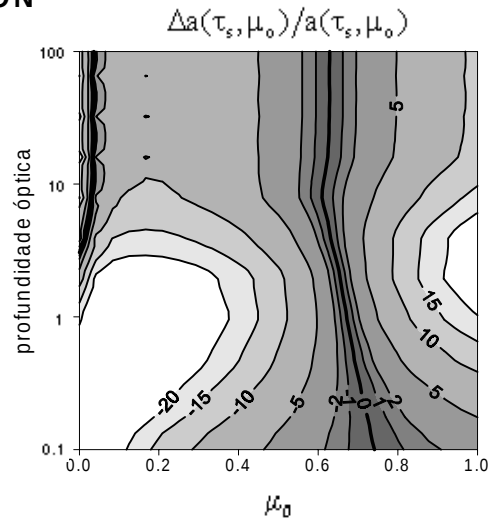
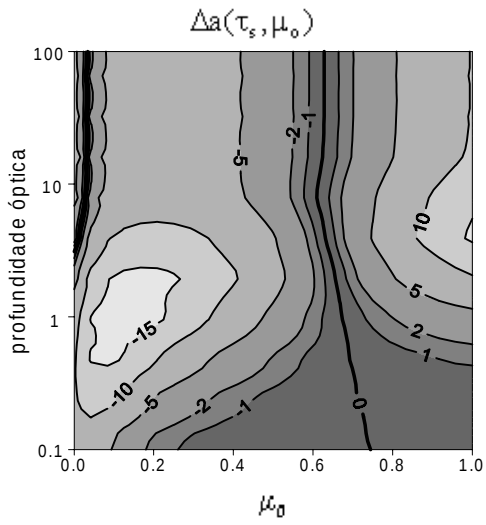


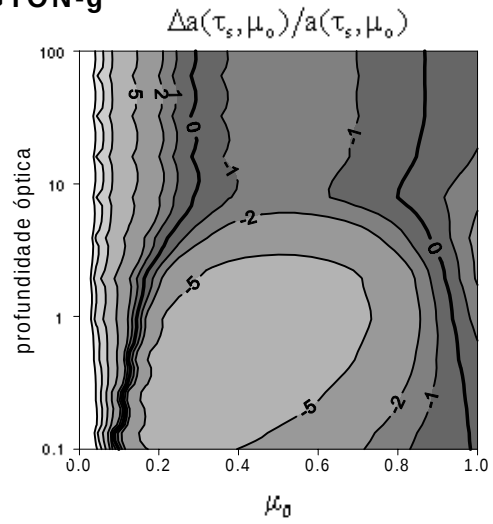
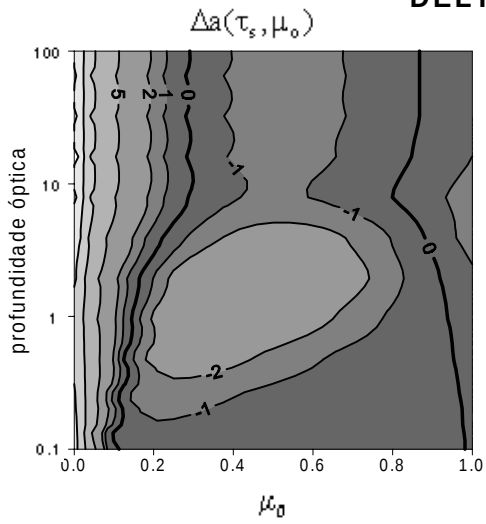
Figura 1. Desvios absolutos e relativos para absorções, considerando-se $\omega = 0,99$.

$$\omega = 0,80$$

EDDINGTON



DELTA-EDDINGTON- g^2



DELTA-EDDINGTON- C_2

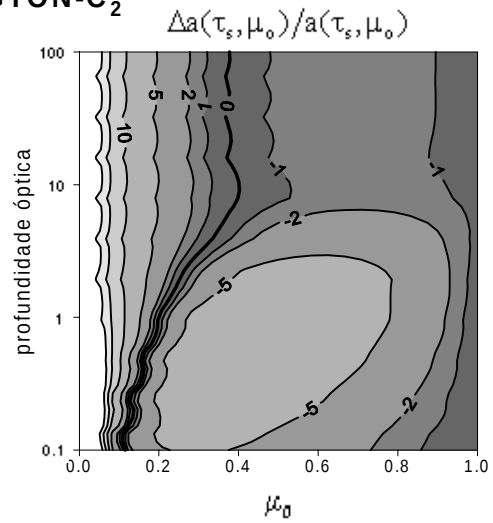
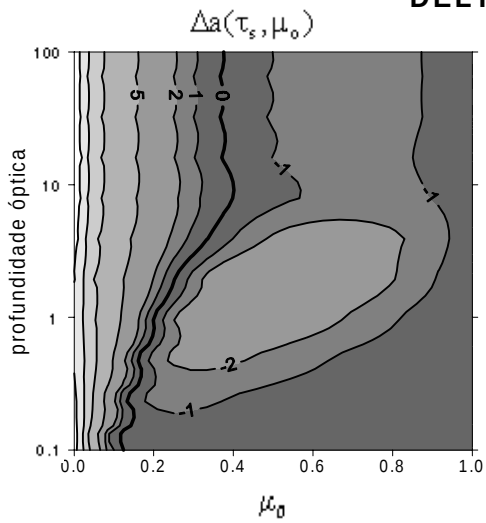


Figura 2. Desvios absolutos e relativos para absorções, considerando-se $\omega = 0,80$.