



Ministério da
Ciência e Tecnologia



SIMULADOR DE RADIÂNCIAS DE CANAIS DE SATÉLITES NO MCGA DO CPTEC

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE – CNPq/MCT)**

Gabriel Silva Dias

Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT

Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais

DSA/CPTEC/INPE – MCT

E-mail: gabriel.dias@cptec.inpe.br; mat11512@feg.unesp.br

Dr. Júlio Cesar Santos Chagas

Orientador

Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais

DSA/CPTEC/INPE – MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INPE - MCT

E-mail: julio.chagas@cptec.inpe.br

Cachoeira Paulista, julho de 2011

**RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO
PROGRAMA: PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

**PROJETO: SIMULADOR DE RADIANCIAS DE CANAIS DE SATÉLITES NO
MCGA DO CPTEC**

**Relatório elaborado por GABRIEL SILVA DIAS relativo ao período de
Agosto de 2010 a Julho de 2011**

Gabriel Silva Dias - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
E-mail: mat11512@feg.unesp.br; gabriel.dias@cptec.inpe.br

Dr. Júlio Cesar Santos Chagas – Orientador
Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DSA/CPTEC/INPE – MCT
E-mail: julio.chagas@cptec.inpe.br

RESUMO

Este trabalho, iniciado em agosto de 2010, tem como objetivo a construção de um sistema para simular radiâncias de canais de satélites a partir de previsões do modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA) do CPTEC/INPE. O trabalho foi previsto para ser concluído em dois anos e este relatório se refere ao trabalho do primeiro ano. Inicialmente foram realizados estudos teóricos sobre propagação de radiação na atmosfera e aplicações em sensoriamento remoto e modelagem atmosférica e treinamento básico na linguagem de programação FORTRAN. Com o uso dessa linguagem, iniciou-se um trabalho específico de desenvolvimento de um modelo off-line (para uma coluna atmosférica) para rodar as atuais rotinas de parametrização da radiação atmosférica do modelo global do CPTEC. Para testar esse modelo parametrizado foram utilizados os dados do projeto CIRC (Continual Intercomparison of Radiation Codes), que são perfis de variáveis atmosféricas observadas e fluxos radiativos calculados com modelos linha-a-linha sofisticados. Como parte do treinamento no uso do software gráfico Gnuplot, foram confeccionadas figuras de perfis verticais de variáveis atmosféricas para alguns casos do CIRC. O modelo off-line já está funcionando para os casos de céu claro e alguns resultados já foram obtidos, como gráficos de perfis verticais de taxa de aquecimento e fluxos de radiação no topo da atmosfera e na superfície. No momento estão sendo feitos desenvolvimentos e testes para que o modelo funcione para os casos com nuvens. As próximas etapas do trabalho envolverão o uso do modelo coluna para gerar radiâncias e a aplicação desse modelo coluna a saídas do modelo global do CPTEC para simular o campo de radiâncias observadas por um canal de um satélite. Essa tecnologia poderá futuramente ser estendida para outros canais de outros satélites e para outros modelos atmosféricos, como os modelos regionais em operação no CPTEC.

ABSTRACT

This project, started on August 2010, aims at building a system that simulates satellite channels radiances from forecasts generated by the atmospheric general circulation model (AGCM) of CPTEC/INPE. The work is planned for two years and this report refers to the first year. Initially, theoretical studies have been performed on radiation transfer on earth's atmosphere and its applications to remote sensing and atmospheric modeling, as well as basic training in FORTRAN programming language. Using FORTRAN, a specific development was started of an off-line model (for only one atmospheric column) to run the current CPTEC AGCM routines that perform the atmospheric radiation parameterization. To test this parameterized model, observed atmospheric profiles and radiative fluxes calculated by sophisticated line-by-line models were used from the CIRC (Continual Intercomparison of Radiation Codes) project. As part of training on the graphic software Gnuplot, figures were made of vertical profiles of atmospheric variables for some cases of CIRC. The off-line model is now working for clear sky conditions and some results have been obtained, such as vertical profiles of heating rate and radiation fluxes at the top of the atmosphere and at the surface. At the moment developments and tests are being carried out in order to include cloud information in the off-line model. Next steps will include the use of the column model to generate radiances and afterwards the application of the column model to output of the CPTEC AGCM to simulate radiances observed by a specific satellite channel. This technology would eventually be extended to other channels of other satellites and to other models like CPTEC's regional models.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1 - Representação esquemática da estrutura de grades cartesianas e método das diferenças finitas aplicado a um MCGA.....	2
Figura 5.1 - Concentração Molecular de Vapor de Água para os casos 1 a 5 do CIRC.....	10
Figura 5.2 - Concentração Molecular de ozônio para os casos 1 a 5 do CIRC	11
Figura 5.3 - Perfil vertical de temperatura para os casos 1 a 5 do CIRC	11
Figura 5.4 - Perfil Vertical de Taxa de Aquecimento para os casos 1 a 5 do CIRC, em escala linear, para que se possam observar as diferenças na troposfera.....	12
Figura 5.5 - Perfil Vertical de Taxa de Aquecimento para os casos 1 a 5 do CIRC, em escala logarítmica, para que se possam observar as diferenças na estratosfera.....	13

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 5.1 - Comparação dos resultados obtidos com os resultados fornecidos pelo CIRC, em W/m ²	14
--	----

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	6
3 O QUE FOI REALIZADO.....	8
4 RESULTADOS.....	9
5 CONCLUSÃO	16
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	17

1 INTRODUÇÃO

Radiação, ou energia radiante, é a energia que se propaga mesmo na ausência de um meio material. O termo radiação é também utilizado para designar o processo de transferência ou propagação desse tipo de energia (Varejão-Silva, 2006). Praticamente todas as trocas de energia entre a Terra e o resto do universo acontecem por meio de radiação.

A Terra e sua atmosfera estão constantemente absorvendo radiação solar e emitindo sua própria radiação para o espaço. Durante um longo período de tempo as taxas de absorção e emissão estão bem próximas, isto é, o sistema Terra–atmosfera está quase em equilíbrio radiativo.

A propagação de radiação também atua como um mecanismo para troca de energia entre a atmosfera e a superfície subjacente e entre diferentes camadas da atmosfera. Ela desempenha um importante papel em uma série de reações químicas nas camadas altas da atmosfera e na formação de “smog” fotoquímico. As propriedades de transferência na faixa visível da radiação determinam a visibilidade, a cor do céu e a aparência das nuvens. Radiação infravermelha emitida pela atmosfera e interceptada por satélites constitui a base do sensoriamento remoto da estrutura da temperatura e da composição atmosféricas (Wallace & Hobbs, 1997).

O resumo histórico da modelagem do clima global esboçado a seguir está baseado em Edwards (2011). As primeiras tentativas de entender o clima começaram na Grécia antes de Cristo com os astrônomos Eratóstenes e Ptolomeu, dando início aos modelos conceituais. Séculos depois, em 1686, os ventos alísios foram objeto de estudo de Halley e outros cientistas e, até a segunda guerra mundial, só se podia inferir a estrutura da circulação da atmosfera em larga escala. Modelos como globos preenchidos por fluidos viscosos foram construídos desde o início do século XX e, apesar de suas limitações, esses modelos apresentaram os princípios básicos de movimento dos fluidos, inspirando então o primeiro grupo de modeladores da circulação

geral da atmosfera. Em 1807, Fourier disse que, por retenção de calor, a atmosfera terrestre mantém a temperatura da superfície mais elevada do que normalmente seria. Durante a primeira guerra mundial, Richardson desenvolveu um método de previsão numérica baseado nas equações de Bjerknes, porém obteve péssimos resultados, mostrando a inconsistência do modelo. Métodos melhores surgiram após o advento dos computadores e, logo após a segunda guerra mundial, a previsão de tempo estava entre as principais aplicações dos computadores. Os primeiros experimentos com previsão de tempo usando modelos numéricos computadorizados seguiram o modelo de Richardson, empregando as grades cartesianas e o método das diferenças finitas (Figura 1).

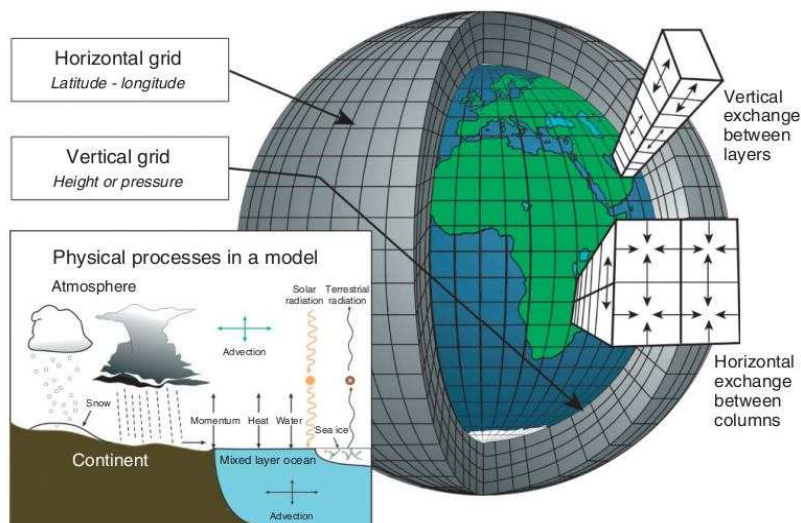


Figura 1 - Representação esquemática da estrutura de grades cartesianas e método das diferenças finitas aplicado a um MCGA.

Fonte: Edwards (2011).

Todos os modelos de circulação geral da atmosfera (MCGA) são constituídos de um núcleo dinâmico que simula o movimento dos fluidos em larga escala usando as leis primitivas, e um núcleo físico, em que outros processos físicos significativos, como propagação de radiação, formação de nuvens, convecção,

fricção entre a terra ou a superfície do oceano com o ar, transferência de calor entre o oceano e a atmosfera, efeitos das partículas de aerossol, são parametrizados, ou seja, representados indiretamente através de parâmetros (funções matemáticas e constantes).

A primeira pessoa a experimentar um MCGA computadorizado foi Norman Phillips; ele utilizava a seguinte técnica: começar com hipóteses e em seguida, eliminá-las uma a uma, até não restar nada além da física primária.

Após isso se iniciou uma nova geração de meteorologistas que se baseavam principalmente nas equações primitivas e três grandes centros localizados nos Estados Unidos iniciaram pesquisas com a finalidade de aperfeiçoar essas equações e métodos numéricos para resolvê-las. Fundado em 1951, o National Meteorological Center / National Center for Environmental Prediction (NMC/NCEP) iniciou suas atividades de pesquisa em modelos de circulação geral da atmosfera por volta de 1966 e continua até os dias atuais. No início dos anos 80, o MCGA do NMC foi passado para o COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies), que o modificou e o exportou para o CPTEC no início dos anos 90; desde então, o CPTEC vem aperfeiçoando-o e usando-o para previsão do tempo e para estudos climáticos.

Dentro de um MCGA, encontramos um conjunto de rotinas para a parametrização da radiação na atmosfera, rotinas são alimentadas com dados fornecidos pela dinâmica do MCGA, basicamente perfis verticais de temperatura, pressão, razão de mistura dos principais gases presentes na atmosfera e características das nuvens (fração de cobertura, raio efetivo das gotículas e das partículas de gelo, razão de mistura de água condensada, fração de gelo e água) e razão de mistura dos principais aerossóis. Esse conjunto de rotinas, conhecido como código de radiação, devolve ao núcleo dinâmico do modelo fluxos de radiação no topo da atmosfera e na superfície, dados que modelo irá usar para fechar os devidos balanços de energia, e taxas

de aquecimento radiativo para cada camada, que serão usadas na avaliação do termo diabático da equação da termodinâmica.

Chagas e Barbosa (2008) descrevem como tem sido feita a parametrização da radiação atmosférica no MCGA do CPTEC. A formulação de Davies (1982) para a absorção de radiação solar pela atmosfera foi implementada no CPTEC no início dos anos 90, quando o MCGA trazido do COLA tornou-se operacional. Características climáticas do modelo global do CPTEC foram analisados por Cavalcanti et al. (2002), que apontaram deficiências na simulação de fluxos radiativos e sugeriu que os esquemas de nuvens e de radiação e deveriam ser melhorados. Tarasova e Cavalcanti (2002) mostraram que o MCGA do CPTEC superestimava o fluxo de ondas curtas incidente na superfície, se comparados com estimativas derivadas de satélite. Em 2004, a formulação de Ramaswamy e Freidenreich (1992) para a absorção de radiação solar pelo vapor de água tornou-se operacional no CPTEC (Chagas et al., 2004), substituindo a de Davies e diminuindo parcialmente o excesso de onda curta incidente na superfície. A incorporação do esquema de ondas curtas conhecido como CLIRAD no AGCM do CPTEC é descrita por Tarasova et al. (2007). Em 2008, o esquema de transferência radiativa do modelo unificado do UK Met Office (Edwards & Slingo, 1996), foi implementado no MCGA do CPTEC (Chagas & Barbosa, 2008), substituindo inicialmente o esquema de ondas curtas em operação baseado em Lacis e Hansen (1974) com a absorção pelo vapor de água segundo Ramaswamy e Freidenreich (1992), e depois, numa segunda etapa, substituindo o esquema operacional de ondas longas desenvolvido por Harshvardhan et al. (1987).

Para comparar os resultados desses diversos esquemas de radiação, pesquisadores têm utilizado os resultados publicados pelo ICRCCM (Intercomparison of Radiation Codes in Climate Models; Luther et al. 1988). O CIRC (Continual Intercomparison of Radiation Codes; <http://circ.gsfc.nasa.gov/>) é, em muitos aspectos, o sucessor do ICRCCM. O CIRC se distingue do ICRCCM por sua ênfase em usar observações para construir seu catálogo de

casos. É utilizado como uma fonte de referência, em constante atualização, para avaliação dos modelos de transferência radiativa incorporados em modelos de circulação geral. Seu objetivo é contribuir para a melhoria da parametrização de transferência radiativa.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste projeto é construir um sistema para simular as radiâncias que seriam observadas por canais de satélite para uma determinada condição atmosférica gerada pela integração do modelo de circulação geral atmosférica (MCGA) do CPTEC ou de outro modelo de previsão do estado atmosférico. Em outras palavras, trata-se de criar uma imagem de satélite sintética baseada em saídas do modelo atmosférico no tempo futuro. O código de radiação de Edward & Slingo (1996), implantado recentemente no MCGA do CPTEC (Chagas & Barbosa, 2008) tem a possibilidade de gerar radiâncias além de fluxos radiativos. Essa característica, que não está presente nos outros códigos de radiação implantados no modelo global do CPTEC (Chagas, 2006), permitirá simular radiâncias de forma semelhante ao que foi feito por Ringer et al. (2003).

O plano de trabalho está previsto para dois anos, e dividido em cinco etapas.

As etapas um e dois previstas para o primeiro ano e as etapas três, quatro e cinco para o segundo ano.

Etapa 1 – Revisão bibliográfica; familiarização com rotinas do MCGA e do código de Edwards & Slingo e seu significado físico usando modelo-coluna do código com atmosferas típicas; estudo de Ringer et al. (2003); entendimento das rotinas de radiâncias e inclusão desse módulo de modelo-coluna.

Etapa 2 – Desenvolvimento de rotinas para receber perfis numa coluna atmosférica e fornecer radiâncias do topo da atmosfera (protótipo off-line).

Etapa 3 – Integração do MCGA para casos típicos; implantação do código off-line no código de radiação do MCGA.

Etapa 4 – Testes preliminares dos campos de radiância simulados com campos observados.

Etapa 5 – Testes preliminares com diferentes canais.

3 O QUE FOI REALIZADO

Nesse primeiro ano de trabalho, houve inicialmente uma revisão bibliográfica de assuntos relacionados a proposta do projeto. Percebeu-se então a necessidade de modificar um modelo-coluna já existente para que pudesse ter condições de uso. Para isso foi necessário um estudo inicial sobre a linguagem de programação FORTRAN. Inicialmente foram feitos alguns exercícios básicos de escrita e leitura para familiarização com a linguagem, para que posteriormente o modelo off-line pudesse ser trabalhado. Foi então feito um trabalho de desenvolvimento e modificação dos programas FORTRAN do modelo off-line. Para validar as modificações feitas nesse modelo foram utilizados alguns casos típicos de atmosfera descrito no projeto CIRC, que também foi estudado, para então gerar taxas de aquecimento e fluxos na superfície e no topo da atmosfera. Para ilustrar os resultados, foram gerados gráficos de perfis de temperatura e taxa de aquecimento dos casos do CIRC.

O modelo-coluna desenvolvido foi aplicado aos casos de céu claro do CIRC e valores de fluxo e taxa de aquecimento foram obtidos.

4 RESULTADOS

Uma versão inicial do programa principal do chamado modelo off-line (OfflineRad.f90) precisou ser modificada para se adaptar à forma como o MCGA do CPTEC faz hoje a parametrização da radiação, com diferentes opções de códigos (três para ondas curtas e dois para ondas longas, incluindo o código de Edwards & Slingo (1996) para ambas as faixas espectrais). Essa versão do OfflineRad.f90 foi modificada para usar como dados de entrada os casos do CIRC, o que envolveu trabalho de programação FORTRAN. A seguir são descritos os resultados da aplicação do código off-line a alguns desses casos.

O CIRC disponibiliza em seu endereço eletrônico sete casos. Neles, a coluna atmosférica é descrita através de vários parâmetros como pressão, temperatura, fração de nuvens, e concentração molecular dos gases.

Alguns gráficos de concentração molecular foram feitos utilizando o software Gnuplot, com a finalidade de ilustrar os casos do CIRC. Para os gases oxigênio e dióxido de carbono a concentração se mantém constante ao longo das camadas atmosféricas, sendo a concentração de oxigênio igual a 20,9 % para todos os casos, a concentração de dióxido de carbono para os casos 1,2 e 3 é de 0,036 %, para o caso 4 é 0,0375 % e para o caso 5 é 0,075 % . O mesmo não acontece para o vapor de água e para o ozônio que têm concentrações variáveis com a altura. Perfis verticais de concentração molecular de vapor de água, concentração molecular de vapor de ozônio e temperatura podem ser vistos a seguir (Figuras 5.1, 5.2 e 5.3):

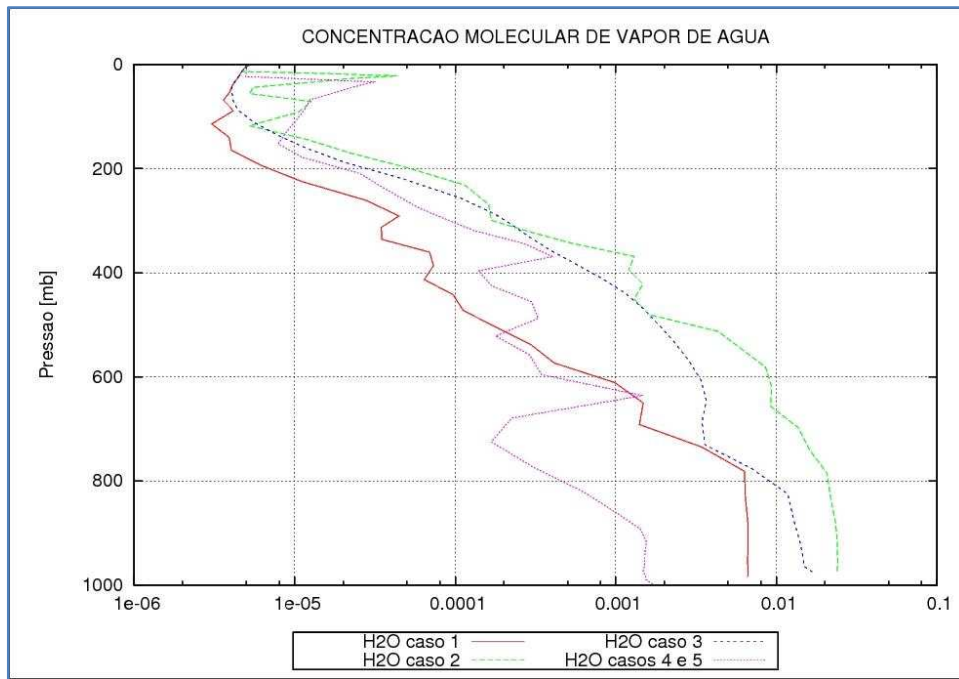


Figura 5.1 – Concentração Molecular de Vapor de Água para os casos 1 a 5 do CIRC.

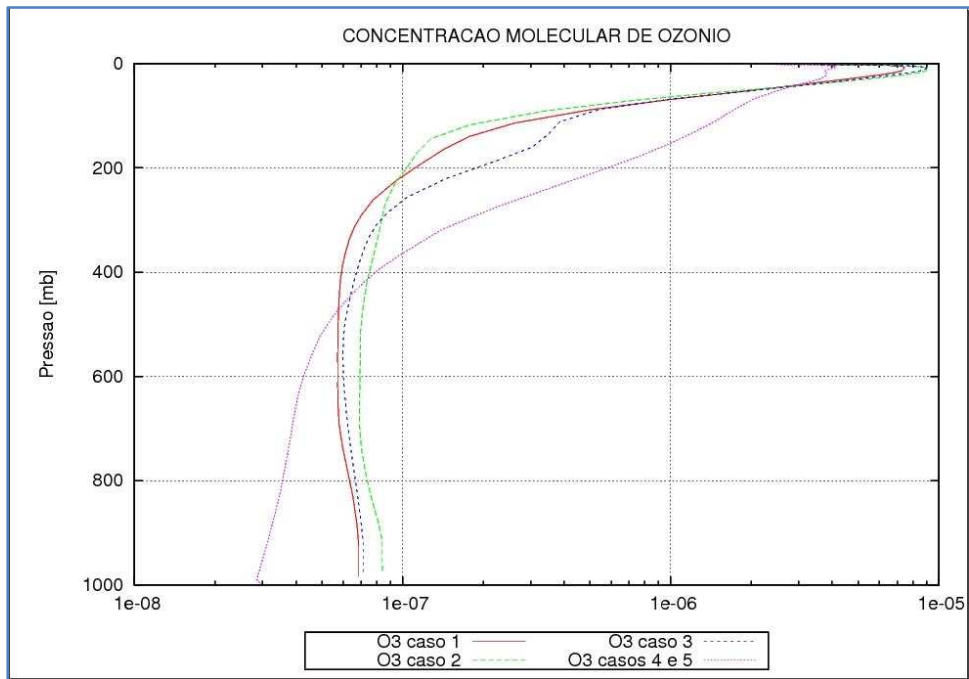


Figura 5.2 – Concentração molecular de ozônio para os casos 1 a 5 do CIRC.

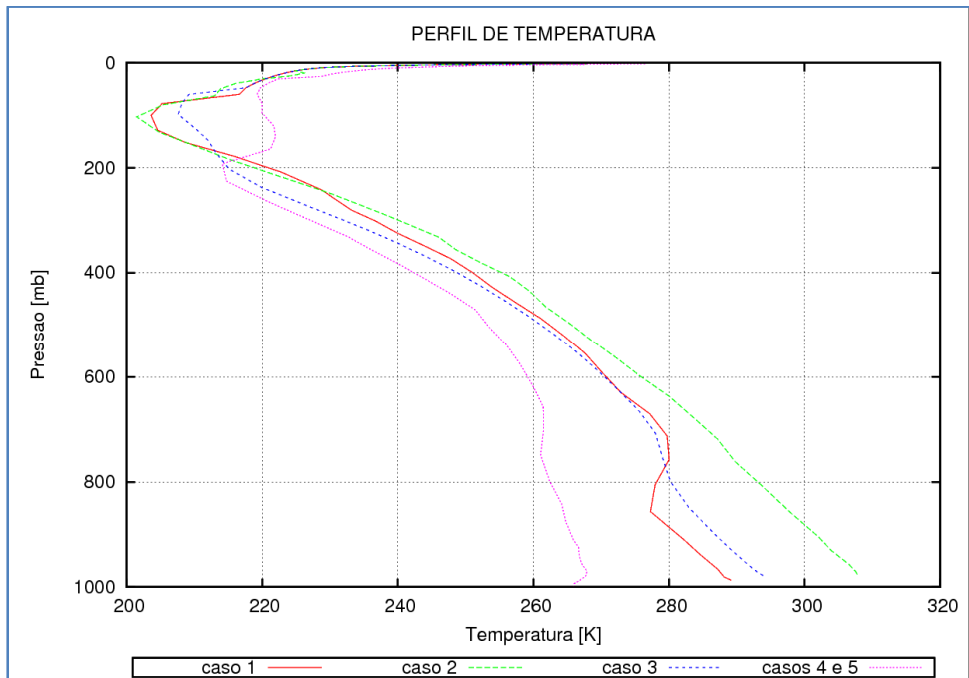


Figura 5.3 – Perfil vertical de temperatura para os casos 1 a 5 do CIRC.

A saída do código off-line fornece taxa de aquecimento e fluxos. Estes últimos podem ser comparados com os valores fornecidos pelo CIRC, que divulga em seu endereço eletrônico os resultados obtidos pelo seu modelo linha-a-linha e também os valores observados da atmosfera em cada caso.

Nesse trabalho, obtivemos resultados para ondas curtas referente os casos de 1 a 5 do CIRC. A seguir os gráfico de perfil de taxa de aquecimento e a tabela comparativa dos valores de fluxos à superfície e no topo da atmosfera (Figura 5.4, 5.5 e Tabela 5.1):

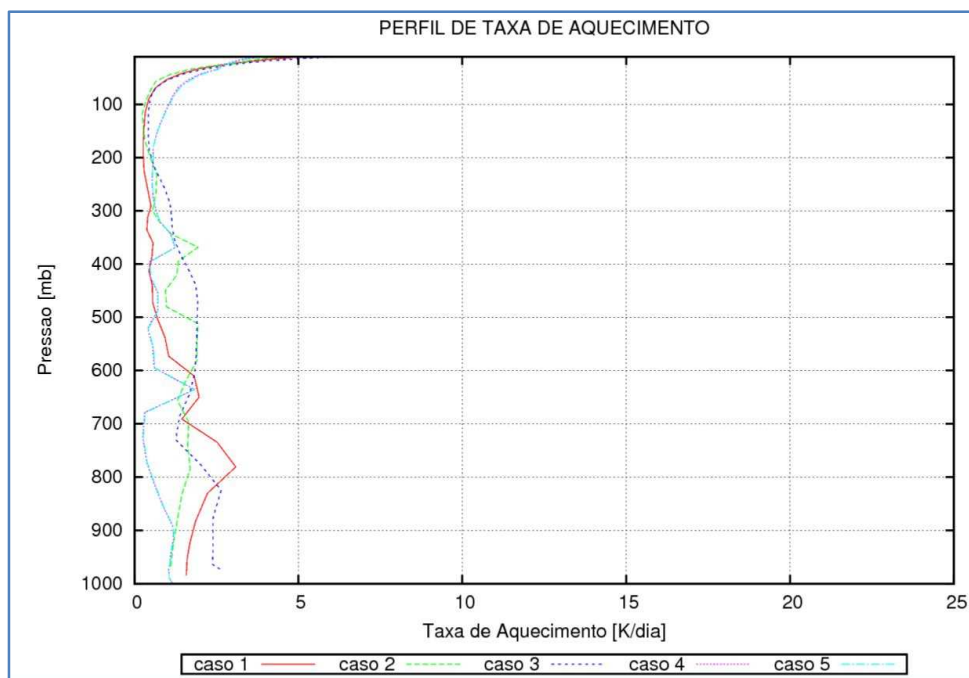


Figura 5.4 – Perfil Vertical de Taxa de Aquecimento para os casos 1 a 5 do CIRC, em escala linear, para que se possam observar as diferenças na troposfera.

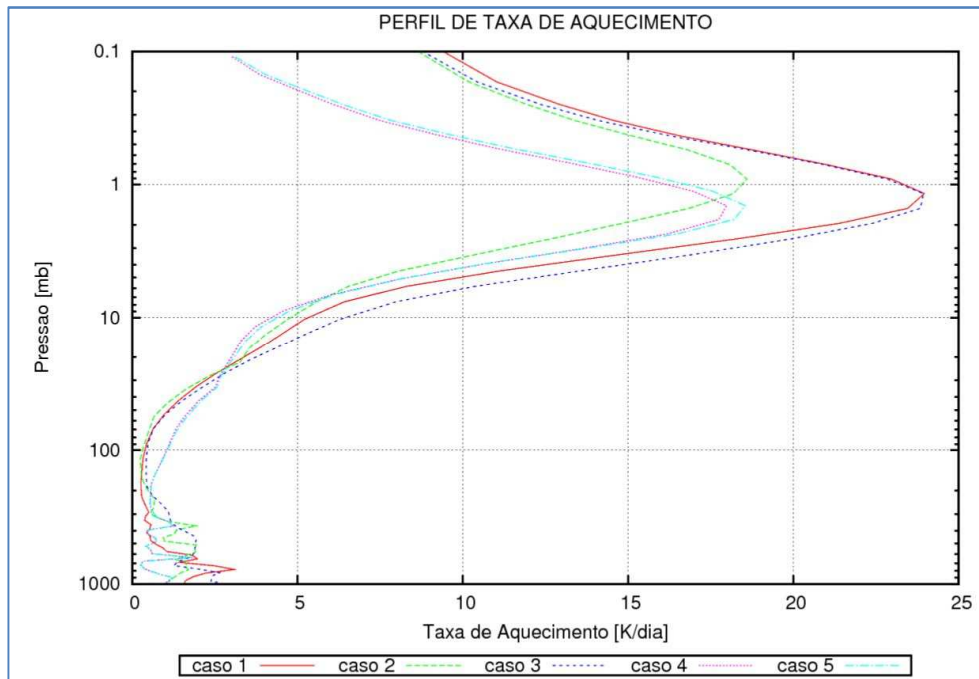


Figura 5.5 – Perfil Vertical de Taxa de Aquecimento para os casos 1 a 5 do CIRC, em escala linear, para que se possam observar as diferenças na estratosfera.

Tabela 5.1 – Comparação dos resultados obtidos com os resultados fornecidos pelo CIRC, em W/m².

Casos	Fluxo incidente total na superfície	Fluxo difuso para baixo na superfície	Fluxo para cima no topo da atmosfera
Caso 1 – CIRC	705.9/701.2	69.4/67.7	169.8/175.0
Caso 1 – obtido	724.2	50.1	148.1
Caso 2 – CIRC	345.4/348.0	92.5/94.2	127.8/117.1
Caso 2 – obtido	397.5	42.3	89.7
Caso 3 – CIRC	772.5/773.1	98.0/98.0	159.6/173.6
Caso 3 – obtido	804.3	50.3	133.2
Caso 4 – CIRC	638.9/642.8	156.4/155.2	425.8/422.9
Caso 4 – obtido	667.6	79.8	393.2
Caso 5 – CIRC	641.3	155.1	422.7
Caso 5 – obtido	665.9	79.8	392.4

Fonte: http://circ.gsfc.nasa.gov/results_table.html

Em vermelho, valores obtidos pelo modelo off-line desenvolvido nesse projeto; Em azul, valores observados pelo CIRC; Em violeta, valores obtidos pelo CIRC utilizando o código CHARTS (Code for High-Resolution Accelerated Radiative Transfer with Scattering).

O CIRC fornece também os casos 6 e 7, porém a atmosfera descrita nesses casos possui nuvens e nosso programa ainda precisa ser modificado para incluir corretamente as informações sobre as características das nuvens. As diferenças esperadas entre os valores de fluxos obtidos por códigos parametrizados e valores de referência (linha-a-linha ou observados) ficam, segundo a literatura, em torno de 10-20 W/m².

Como os resultados aqui obtidos superaram isso em alguns casos, será ainda necessário uma revisão nas rotinas FORTRAN para certificar-se de que todos os parâmetros de entradas estão sendo passados corretamente.

5 CONCLUSÃO

Durante o trabalho de iniciação científica, foi realizada uma revisão bibliográfica referente aos temas abordados no projeto, e também sobre sensoriamento remoto da atmosfera e linguagem de programação FORTRAN.

O objetivo principal do projeto é a construção de um sistema para simular radiancias de canais de satélites a partir de previsões do modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA) do CPTEC/INPE. Utilizando os conhecimentos adquiridos de programação, iniciou-se um trabalho específico de desenvolvimento de um modelo off-line (para uma coluna atmosférica) para rodar as atuais rotinas de parametrização da radiação atmosférica do modelo global do CPTEC. Para validar esse modelo, utilizou-se dados fornecidos pelo projeto CIRC como entrada do modelo off-line e comparou-se com as respectivas saídas de fluxos esperadas. Alguns valores de taxas de aquecimento e fluxos para céu claro foram obtidos e comparados aos do CIRC através de gráficos gerados pelo software Gnuplot.

Para uma possível continuação do trabalho, um plano menos ambicioso e mais realista foi formulado.

Inicialmente deve ser feito o estudo do artigo Ringer et al. (2003) bem como o entendimento das rotinas para cálculo de radiancias e incluir esse novo módulo no modelo coluna. Após obter as radiancias, seleciona-se um satélite e um canal a ser utilizado na construção do protótipo, onde sua entrada agora será a saída de uma integração do MCGA do CPTEC.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAVALCANTI, I. F. A.; MARENGO, J. A.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; TROSNIKOV, I.; BONATTI, J. P.; MANZI, A. O.; TARASOVA, T.; PEZZI, L. P.; D'ALMEIDA, C.; SAMPAIO, G.; CASTRO, C. C.; SANCHES, M. B.; CAMARGO, H. Global climatological features in a simulation using the CPTEC-COLA AGCM. *J. Climate*, v. 15, p. 2965–2988, 2002.

CHAGAS, J. C. S.; BARBOSA, H. M. J. Incorporation of the UK Met Office's radiation scheme into CPTEC's global model. São José dos Campos, INPE-15393-NTC/376, 86 p., 2008.

CHAGAS, J. C. S. Comparações off-line de códigos radiativos de ondas curtas. CPTEC, 2006. 21 p. (Documento interno do CPTEC).

CHAGAS, J. C. S.; BARBOSA, H. M. J. Impact of UKMO's shortwave scheme on CPTEC's global model. In: AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY. The 12th Conference on Atmospheric Radiation. Madison, Wisconsin, USA, 2006. Disponível em: <<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/112861.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2008.

CHAGAS, J. C. S.; MALAGUTTI, M.; NOBRE, P. Modificações no esquema de radiação do modelo global do CPTEC. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE METEOROLOGIA. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Fortaleza, Ceará 2004.

DAVIES, R. Documentation of the solar radiation parametrization in the GLAS climate model. Greenbelt, MD, USA: Goddard Space Flight Center, 1982. NASA-TM-83961.

EDWARDS, J. M.; SLINGO, A. Studies with a flexible new radiation code. I: Choosing a configuration for a large-scale model. *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, v. 122, p. 689–719, 1996.

HARSHVARDHAN; DAVIS, R.; RANDAL, D. A.; CORSETTI, T. G. A fast radiation parameterization for general circulation models. *J. Geophys. Res.*, v. 92, p. 1009–1016, 1987.

LACIS, A. A.; HANSEN, J. E. A parameterization for the absorption of solar radiation in the Earth's atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, v. 31, p. 118–133, 1974.

LUTHER, F. M.; ELLINGSON, R. G.; FOUQUART, Y.; FELS, S.; SCOTT, N. A.; WISCOMBE, W. J. Intercomparison of radiation codes in climate models (ICRCCM): longwave clear-sky results — a workshop summary. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, v. 69, n. 1, p. 40–48, 1988.

RAMASWAMY, V.; FREIDENREICH, S. M. A study of broadband parameterizations of the solar radiative interactions with water vapor and water drops. *J. Geophys. Res.*, v. 97, n. D11, p. 11487–11512, 1992.

RINGER, M. A.; EDWARDS, J. M.; SLINGO, A. Simulation of satellite channel radiances in the Met Office Unified Model. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 129, 1169-1190, 2003

TARASOVA, T. A.; CAVALCANTI, I. F. Monthly mean solar radiation fluxes and cloud forcing over South America in the period 1986–88: GCM results and satellite-derived data. *J. Appl. Meteorol.*, v. 41, p. 863–871, 2002.

TARASOVA, T. A.; FIGUEROA, S. N.; BARBOSA, H. M. J. Incorporation of new solar radiation scheme into CPTEC GCM. São José dos Campos, INPE, 2007. INPE-14052-NTE/371, 44 pp.

VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e Climatologia, Versão digital 2*. Recife, 463 p, 2004.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. *Atmospheric Science, An Introductory Survey*. Academic Press, San Diego, 467 p, 1977.

http://circ.gsfc.nasa.gov/results_table.html (site acessado em 12 de julho de 2011)