



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/01.22.13.48-TDI

**IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DA
PARAMETRIZAÇÃO DE EMISSÃO E TRANSPORTE
DE POEIRA DE SOLO NO CCATT/MCGA-CPTEC**

Marcos Cezar Yoshida

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Dr. Saulo Ribeiro de Freitas, aprovada em 20 de fevereiro de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3HQKTS2>>

INPE
São José dos Campos
2015

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
(CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/01.22.13.48-TDI

**IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DA
PARAMETRIZAÇÃO DE EMISSÃO E TRANSPORTE
DE POEIRA DE SOLO NO CCATT/MCGA-CPTEC**

Marcos Cezar Yoshida

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Dr. Saulo Ribeiro de Freitas, aprovada em 20 de fevereiro de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3HQKTS2>>

INPE
São José dos Campos
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Yoshida, Marcos Cezar.

Y83i Implementação e avaliação da parametrização de emissão e transporte de poeira de solo no CCATT/MCGA-CPTEC / Marcos Cezar Yoshida. – São José dos Campos : INPE, 2015.

xxvi + 180 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/01.22.13.48-TDI)

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

Orientador : Dr. Saulo Ribeiro de Freitas.

1. Poeira. 2. Emissão. 3. Deposição. 4. Radiação.
5. Desertificação. I.Título.

CDU 551.510.42:551.513

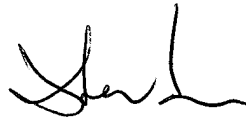


Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Doutor(a)** em
Meteorologia

Dr. Dirceu Luis Herdies



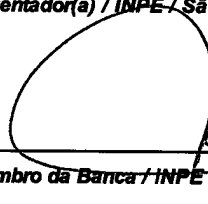
Presidente / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Saulo Ribeiro de Freitas



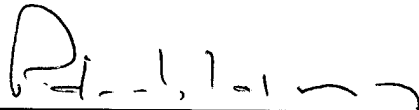
Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Silvio Nilo Figueroa Rivero



Membro da Banca / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Pedro Leite da Silva Dias



Convidado(a) / USP / São Paulo - SP

Dr. Nilton Manuel Évora do Rosário



Convidado(a) / UNIFESP / São Paulo - SP

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): **Marcos Cezar Yoshida**

São José dos Campos, 20 de Fevereiro de 2015

“... in pulverem reverteris.”

(GENESIS, 3.19)

A meu pai Teruo Yoshida (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Saulo Ribeiro de Freitas, pelos ensinamentos e orientações.

À Banca examinadora: Dr. Pedro Leite da Silva Dias, Dr. Nilton Manuel Évora do Rosário, Dr. Silvio Nilo Figueroa, e Dr. Dirceu Luis Herdies.

A minha família: Toshico, Márcia, Cláudia, Eliamara, Sérgio, Fábria e Ricardo.

Aos amigos e colegas pelos apoios e incentivos.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela oportunidade, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro proporcionado.

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é analisar o impacto das interações entre a poeira e as radiações solares e terrestres nos balanços de radiação e energia sobre a Amazônia. O objetivo adicional é analisar o impacto das emissões da Caatinga sobre a Amazônia. A poeira de solo é emitida devido ao cisalhamento do vento, e transportada pelos processos turbulentos e pelas advecções dos ventos. Ao longo do transporte, a poeira retorna para a superfície devido as sedimentações gravitacionais e as deposições secas e úmidas. O conteúdo residual da poeira transportada na atmosfera interage com a radiação solar e terrestre, e altera os perfis de aquecimento tanto da atmosfera quanto da superfície. Estas interações modificam os balanços de radiação e de energia, e alteram os suprimentos das convecções e precipitações. O ciclo da poeira é modelada no *CCATT*, o transporte da poeira ocorre no *MCGA-CPTEC*, e as interações entre a poeira e as radiações são estimadas no código radiativo *UKMO*. O ciclo de poeira foi analisado através dos campos médios das emissões, sedimentações gravitacionais, deposições secas e úmidas, e conteúdos da poeira transportada. O balanço radiativo foi analisado através dos campos incidentes, absorvidos e emitidos das radiações solares e terrestres. O balanço de energia foi analisado através dos campos de temperatura e fluxos de calor latente e sensível. A validação das parametrizações da poeira foi realizada através de um estudo de caso, onde os conteúdos de poeira transportados foram comparados com dados de satélites e de superfície, mostrando uma boa concordância. Os resultados das simulações mostraram que as variações dos conteúdos de poeira sobre as regiões Orientais e Ocidentais da Amazônia, devido as emissões remotas e regionais, resfriaram a Amazônia como um todo, mas reduziram as precipitações somente sobre a Amazônia Oriental.

IMPLEMENTATION AND EVALUATION IN THE PARAMETRIZATION OF EMISSION AND TRANSPORT OF SOIL DUST IN CCATT/MCGA-CPTEC

ABSTRACT

The main objective this work is to analyze the feedback in energy and radiation budget due the interactions between dust and radiation over Amazon. Additional objective is a case study of Caatinga's dust emission to Amazon. Soil dust are emitted on surface due wind shear and are transported by the turbulence and advection. During the downstream transport, dust returns to surface due gravity settling and dry and wet deposition. Dust loads on atmosphere scattering and absorbing solar and thermal radiation and modifies both atmosphere and surface temperature. These interactions changes the energy and radiation budget and the convection and precipitation supplies. Dust cycle are parametrized in *CCATT* model, and dust transport occurs in *CPTEC's AGCM*, and dust profiles are coupled in the *UKMO* radiative code. Dust cycle are analysed with the averaged fields of dust emissions, gravity settlings, dry and wet deposition, and loads. Radiation budget are analyzed with the incident, absorbed and emitted solar and thermal fields. Energy budget are analyzed with the tempeature and latent and sensible heat flux fields. Dust process parametrizations are tested with a case study where the dust loads are compared with satellite and surface data, showing good results. Simulations showing that dust loads transported from remote and regional sources to Amazon reduces the temperature overall the Amazon and reduced the precipitation on the Amazon oriental region.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Exemplo de distribuição de propriedades das partículas	4
2.2 Deposição das partículas no trato respiratório	9
2.3 Ciclo da poeira	10
2.4 Processos atuantes nas partículas dos aerossóis	10
2.5 Representação esquemática do <i>saltation</i>	12
2.6 Função fonte de poeira	15
2.7 Correlação entre a taxa de transporte de poeira, velocidade de arraste e tempo	18
2.8 Trajetórias dos principais sistemas atmosféricos que causam tempestades de poeira	18
2.9 Esquema do modelo <i>CCATT-BRAMS</i>	21
3.1 Visão geral do <i>MCGA</i>	23
3.2 O subdiretório <i>pre</i>	23
3.3 Visão geral do <i>pre/databcs</i> e <i>pre/databcs/GTOPO30</i>	24
3.4 Fração de erosibilidade extraído do <i>GOCART/WRF</i>	25
3.5 climatologia da seca do <i>IBGE</i>	25
3.6 Fração de erosibilidade da Caatinga após pré-processamento	26
3.7 Áreas de análises da interação poeira-radiação	26
3.8 subdiretório <i>pre/sources</i>	27
3.9 subdiretório <i>pre/scripts</i>	28
3.10 O subdiretório <i>model</i>	28
3.11 subdiretório <i>model/datain</i>	29
3.12 Subdiretório <i>model/sources</i>	31
3.13 Subdiretório <i>model/sources/ccatt</i>	31
3.14 Etapa de execução <i>CCATT/MCGA</i> : Inicialização	32
3.15 Etapa de execução do <i>CCATT/MCGA</i> : Resolução	32
3.16 Etapa de execução do <i>CCATT/MCGA</i> : Finalização	33
3.17 Funcionamento da rotina de emissão	34
3.18 Fluxograma da rotina de emissão	34
3.19 Funcionamento da rotina de sedimentação gravitacional	35
3.20 Fluxograma sedimentação gravitacional	35
3.21 funcionamento da rotina de deposição seca	36
3.22 Fluxograma deposição seca	36
3.23 funcionamento da rotina de deposição úmida	37
3.24 Fluxograma deposição úmida	37
3.25 Subdiretório <i>pos</i>	40
3.26 Subdiretório <i>run</i>	40
4.1 Emissão da poeira: <i>All bins</i>	46
4.2 Emissão da poeira: <i>bin 1</i>	47
4.3 Emissão da poeira: <i>bin 2</i>	48
4.4 Emissão da poeira: <i>bin 3</i>	49
4.5 Emissão da poeira: <i>bin 4</i>	50

4.6	Emissão da poeira: <i>bin 5</i>	51
4.7	Deposição gravitacional da poeira: <i>All bins</i>	53
4.8	Deposição gravitacional da poeira: <i>bin 1</i>	54
4.9	Deposição gravitacional da poeira: <i>bin 2</i>	55
4.10	Deposição gravitacional da poeira: <i>bin 3</i>	56
4.11	Deposição gravitacional da poeira: <i>bin 4</i>	57
4.12	Deposição gravitacional da poeira: <i>bin 5</i>	58
4.13	Deposição seca da poeira: <i>All bins</i>	60
4.14	Deposição seca da poeira: <i>bin 1</i>	61
4.15	Deposição seca da poeira: <i>bin 2</i>	62
4.16	Deposição seca da poeira: <i>bin 3</i>	63
4.17	Deposição seca da poeira: <i>bin 4</i>	64
4.18	Deposição seca da poeira: <i>bin 5</i>	65
4.19	Deposição úmida da poeira: <i>All bins</i>	67
4.20	Deposição úmida da poeira: <i>bin 1</i>	68
4.21	Deposição úmida da poeira: <i>bin 2</i>	69
4.22	Deposição úmida da poeira: <i>bin 3</i>	70
4.23	Deposição úmida da poeira: <i>bin 4</i>	71
4.24	Deposição úmida da poeira: <i>bin 5</i>	72
4.25	Transporte da poeira na atmosfera em 925mb: <i>All bins</i>	74
4.26	Transporte da poeira na atmosfera em 925mb: <i>bin 1</i>	75
4.27	Transporte da poeira na atmosfera em 925mb: <i>bin 2</i>	76
4.28	Transporte da poeira na atmosfera em 925mb: <i>bin 3</i>	77
4.29	Transporte da poeira na atmosfera em 925mb: <i>bin 4</i>	78
4.30	Transporte da poeira na atmosfera em 925mb: <i>bin 5</i>	79
4.31	Transporte da poeira na atmosfera em 500mb: <i>All bins</i>	80
4.32	Transporte da poeira na atmosfera em 500mb: <i>bin 1</i>	81
4.33	Transporte da poeira na atmosfera em 500mb: <i>bin 2</i>	82
4.34	Transporte da poeira na atmosfera em 500mb: <i>bin 3</i>	83
4.35	Transporte da poeira na atmosfera em 500mb: <i>bin 4</i>	84
4.36	Transporte da poeira na atmosfera em 500mb: <i>bin 5</i>	85
4.37	Transporte da poeira na atmosfera em 200mb: <i>All bins</i>	86
4.38	Transporte da poeira na atmosfera em 200mb: <i>bin 1</i>	87
4.39	Transporte da poeira na atmosfera em 200mb: <i>bin 2</i>	88
4.40	Transporte da poeira na atmosfera em 200mb: <i>bin 3</i>	89
4.41	Transporte da poeira na atmosfera em 200mb: <i>bin 4</i>	90
4.42	Transporte da poeira na atmosfera em 200mb: <i>bin 5</i>	91
4.43	Perfis zonais e meridionais do transporte em Cabo Verde: <i>All bins</i>	94
4.44	Perfis zonais e meridionais do transporte em Alta Floresta: <i>All bins</i>	95
4.45	Evolução temporal do transporte da poeira: Cabo Verde	96
4.46	Evolução temporal do transporte da poeira: Alta Floresta	98
4.47	Radiação de onda curta incidente na superfície (<i>OCIS</i>)	100
4.48	Radiação de ondas curtas absorvida na superfície (<i>OCAS</i>)	102
4.49	Radiação de onda longa incidente na superfície (<i>OLIS</i>)	104
4.50	Radiação infravermelha no topo da atmosfera (<i>ROLE</i>)	106
4.51	Temperatura absoluta da superfície (<i>TEMS</i>)	107
4.52	Temperatura absoluta da atmosfera (<i>TEMP</i>): 925mb	109
4.53	Temperatura absoluta da atmosfera (<i>TEMP</i>): 500mb	110

4.54	Temperatura absoluta da atmosfera (<i>TEMP</i>): 200mb	111
4.55	Fluxo de calor sensível. (<i>CSSF</i>)	113
4.56	Fluxo de calor latente (<i>CLSF</i>)	115
4.57	Precipitação total (<i>PREC</i>)	117
4.58	Precipitação convectiva (<i>PRCV</i>)	119
5.1	Total da poeira na atmosfera sobre Cabo Verde e Alta Floresta: <i>Exp1</i>	123
5.2	Total da poeira na atmosfera sobre Cabo Verde e Alta Floresta: <i>Exp2</i>	124
5.3	Total da poeira na atmosfera sobre Cabo Verde e Alta Floresta: <i>Exp3</i>	125
5.4	Pluma de poeira sobre o oeste da África	127
5.5	Espessura óptica média <i>AOD-MODIS</i>	128
5.6	Espessura óptica estimada pelo <i>AERONET</i>	130
5.7	Perfis de aerossóis do <i>CALIOP</i>	131
5.8	Perfis do conteúdo de poeira do <i>MCGA</i>	132
5.9	Perfis de temperatura em Alta Floresta	133
5.10	Análise do perfil de temperatura em Alta Floresta	134
A.1	Emissão da poeira: <i>bin All e 1</i>	145
A.2	Emissão da poeira: <i>bin 2 e 3</i>	146
A.3	Emissão da poeira: <i>bin 4 e 5</i>	147
B.1	Deposição gravitacional da poeira: <i>bin All e 1</i>	149
B.2	Deposição gravitacional da poeira: <i>bin 2 e 3</i>	150
B.3	Deposição gravitacional da poeira: <i>bin 4 e 5</i>	151
C.1	Deposição seca da poeira: <i>bin All e 1</i>	153
C.2	Deposição seca da poeira: <i>bin 2 e 3</i>	154
C.3	Deposição seca da poeira: <i>bin 4 e 5</i>	155
D.1	Deposição úmida da poeira: <i>bin All e 1</i>	157
D.2	Deposição úmida da poeira: <i>bin 2 e 3</i>	158
D.3	Deposição úmida da poeira: <i>bin 4 e 5</i>	159
E.1	Transporte da poeira: <i>bin All e 1</i> em 925mb	161
E.2	Transporte da poeira: <i>bin 2 e 3</i> em 925mb	162
E.3	Transporte da poeira: <i>bin 4 e 5</i> em 925mb	163
E.4	Transporte da poeira: <i>bin All e 1</i> em 500mb	164
E.5	Transporte da poeira: <i>bin 2 e 3</i> em 500mb	165
E.6	Transporte da poeira: <i>bin 4 e 5</i> em 500mb	166
E.7	Transporte da poeira: <i>bin All e 1</i> em 200mb	167
E.8	Transporte da poeira: <i>bin 2 e 3</i> em 200mb	168
E.9	Transporte da poeira: <i>bin 4 e 5</i> em 200mb	169
E.10	Perfis zonais do transporte da poeira sobre Cabo Verde: <i>bin 1</i>	170
E.11	Perfis zonais do transporte da poeira sobre Cabo Verde: <i>bin 2</i>	171
E.12	Perfis zonais do transporte da poeira sobre Cabo Verde: <i>bin 3</i>	172
E.13	Perfis zonais do transporte da poeira sobre Cabo Verde: <i>bin 4</i>	173
E.14	Perfis zonais do transporte da poeira sobre Cabo Verde: <i>bin 5</i>	174
E.15	Perfis zonais do transporte da poeira sobre Alta Floresta: <i>bin 1</i>	175
E.16	Perfis zonais do transporte da poeira sobre Alta Floresta: <i>bin 2</i>	176
E.17	Perfis zonais do transporte da poeira sobre Alta Floresta: <i>bin 3</i>	177

E.18 Perfis zonais do transporte da poeira sobre Alta Floresta: <i>bin 4</i>	178
E.19 Perfis zonais do transporte da poeira sobre Alta Floresta: <i>bin 5</i>	179

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Concentração dos elementos químicos das partículas de poeira no <i>SADEX</i>	6
2.2 Estimativas de emissão anual de poeira	11
3.1 Variáveis prognósticas adicionadas	30
3.2 Parâmetros radiativos da variável <i>dust-like</i> : radiação solar	38
3.3 Parâmetros radiativos da variável <i>dust-like</i> : radiação terrestre	39
3.4 Parâmetros radiativos da variável <i>dust division[1-5]</i> : radiação solar	39
3.5 Parâmetros radiativos da variável <i>dust division[1-5]</i> : radiação terrestre	39
3.6 Configurações do <i>MODELIN</i> para as simulações	41
4.1 Variáveis de emissão e deposição da poeira	44
4.2 Emissão de poeira por área e por classe	52
4.3 Sedimentação gravitacional por área e por classe	59
4.4 Deposição seca da poeira por área e por classe	66
4.5 Deposição úmida da poeira por área e por classe	73
4.6 Transporte de poeira na atmosfera por área e por classe	92
4.7 Eventos de poeira ocorridos em Cabo Verde	97
4.8 Onda curta incidente na superfície – <i>OCIS</i>	101
4.9 Onda curta absorvida na superfície – <i>OCAS</i>	103
4.10 Onda longa incidente na superfície – <i>OLIS</i>	104
4.11 Radiação de onda longa emitida no topo da atmosfera – <i>ROLE</i>	106
4.12 Temperatura da superfície – <i>TEMS</i>	108
4.13 Temperatura absoluta da atmosfera – <i>TEMP</i>	112
4.14 Fluxo de calor sensível na superfície – <i>CSSF</i>	113
4.15 Fluxo de calor latente na superfície – <i>CLSF</i>	115
4.16 Precipitação total – <i>PREC</i>	118
4.17 Precipitação convectiva – <i>PRCV</i>	119
A.1 Emissão de poeira total integrado por área e por classe	148
B.1 Sedimentação gravitacional total integrado por área e por classe	152
C.1 Deposição seca de poeira total integrado por área e por classe	156
D.1 Deposição úmida de poeira total integrado por área e por classe	160
E.1 Transporte de poeira total integrado por área e por classe	180

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOD	– Atmospheric Optical Depth
AERONET	– Aerosol Robotic Network
BRAMS	– Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System
CALIOP	– Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization
CALIPSO	– Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite
CATT	– Coupled Aerosol and Tracer Transport
CCATT	– Coupled Chemistry Aerosol and Tracer Transport
CPTEC	– Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
COLA	– Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies
GOCART	– Georgia Tech/Goddard Global Ozone Chemistry Aerosol Radiation and Transport
<i>drydep</i>	– deposição seca
<i>erod</i>	– erosibilidade
GFDL	– Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
GISS	– Goddard Institute for Space Studies
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MCG	– Modelo de Circulação Geral
MCGA	– Modelo de Circulação Geral Atmosférico
MODIS	– Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	– National Aeronautics and Space Administration
NCEP	– National Center for Environmental Prediction
NCN	– Núcleos de Condensação de Nuvens
NOAA	– National Oceanic and Atmospheric Administration
NMC	– National Meteorological Center
OMS	– Organização Mundial da Saúde
RAMS	– Regional Atmospheric Modeling System
SADEX	– Soviet-American Dust Experiment
<i>settling</i>	– deposição gravitacional
SSiB	– Simplified Simple Biosphere Model
SWRAD	– Short Wave Solar Radiation
UKMO	– United Kingdom Meteorology Office
<i>wetdep</i>	– deposição úmida
WRF	– Weather Research and Forecasting

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 Revisão Bibliográfica	3
2.1 As partículas de poeiras minerais	3
2.1.1 Distribuição de tamanho das partículas de poeira	3
2.1.2 Composição química da poeira mineral	5
2.1.3 As partículas de poeira e a precipitação	6
2.1.4 As partículas de poeira e a radiação	7
2.1.5 Eletrificação da poeira	7
2.1.6 As partículas de poeira e a saúde humana	8
2.1.7 Fertilização pela poeira	9
2.2 O ciclo da poeira	10
2.2.1 Emissão da poeira	11
2.2.1.1 Cisalhamento do vento	12
2.2.1.2 <i>Saltation</i>	12
2.2.1.3 Campo elétrico na superfície	13
2.2.2 Modelagem da emissão de poeira	13
2.2.2.1 Função fonte de poeira	14
2.3 Deposição da poeira	15
2.3.1 Deposição gravitacional	15
2.3.1.1 Modelagem da deposição gravitacional	16
2.3.2 Deposição na superfície	16
2.3.2.1 Modelagem da deposição na superfície	16
2.3.3 Deposição úmida dentro das nuvens	16
2.3.3.1 Modelagem da deposição úmida dentro das nuvens	17
2.3.4 Deposição úmida abaixo das nuvens	17
2.4 Transporte da poeira	17
2.5 O modelo <i>MCGA/CPTEC</i>	19
2.5.1 O modelo de radiação <i>UKMO</i>	20
2.5.2 O modelo <i>CATT</i>	20
3 Implementação da Poeira no <i>MCGA/CPTEC</i>	23
3.1 <i>pre</i> : o pré processamento	23
3.1.1 <i>pre/databcs</i>	24
3.1.2 <i>pre/sources</i>	27
3.1.2.1 <i>pre/sources/SoilErosion</i> : fração de erosibilidade	27
3.1.3 <i>pre/scripts</i>	28
3.2 <i>model</i> : o processamento	28
3.2.1 <i>model/datain</i>	29
3.2.2 <i>model/sources</i>	30

3.3	Implementação da poeira no <i>CCATT/MCGA</i>	33
3.3.1	Rotina de emissão da poeira	33
3.3.2	Rotina da sedimentação gravitacional da poeira	34
3.3.3	Rotina da deposição seca da poeira	36
3.3.4	Rotina de deposição úmida da poeira	37
3.4	Acoplamento da poeira com a radiação	38
3.5	<i>pos</i> – Pós processamento	40
3.6	<i>run</i> – Submissão da execução do processamento	40
4	Resultados e Discussões	43
4.1	Simulando a poeira	43
4.1.1	Simulando a emissão de poeira	44
4.1.2	Simulando a sedimentação gravitacional da poeira	52
4.1.3	Simulando a deposição seca da poeira	59
4.1.4	Simulando a deposição úmida da poeira	66
4.1.5	Simulando o transporte da poeira	73
4.1.5.1	Perfis zonais e meridionais do transporte da poeira	93
4.1.5.2	Análise temporal do transporte da poeira	95
4.2	Comparando as simulações	98
4.2.1	Comparando a radiação de onda curta incidente na superfície	99
4.2.2	Comparando a radiação de ondas curtas absorvida na superfície	101
4.2.3	Comparando a radiação de onda longa incidente na superfície	103
4.2.4	Comparando a radiação de onda longa no topo da atmosfera	105
4.2.5	Comparando a temperatura absoluta na superfície	107
4.2.6	Comparando a temperatura absoluta na atmosfera	108
4.2.7	Comparando o fluxo de calor sensível	112
4.2.8	Comparando o fluxo de calor latente na superfície	114
4.2.9	Comparando a precipitação total	116
4.2.10	Comparando a precipitação convectiva	118
5	Validação da poeira	121
5.1	Transporte da poeira sobre Cabo Verde e Alta Floresta	122
5.2	Validação com dados do <i>MODIS</i>	126
5.2.1	Validação da poeira com imagens <i>RGB</i> do <i>MODIS</i>	126
5.2.2	Validação da poeira com <i>AOD-MODIS</i>	127
5.3	Validação com dados do <i>AERONET</i>	129
5.4	Validação da poeira com imagens do <i>CALIOP</i>	130
5.5	Validação com dados de radiosondagens	132
6	Conclusões	135
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
	APÊNDICE A - Emissão	145
A.1	Emissão por classe de poeira	145

APÊNDICE B - Deposição Gravitacional	149
B.1 Sedimentação gravitacional por classe de poeira	149
APÊNDICE C - Deposição Seca	153
C.1 Deposição seca por classe de poeira	153
APÊNDICE D - Deposição Úmida	157
D.1 Deposição úmida por classe de poeira	157
APÊNDICE E - Transporte	161
E.1 Transporte por classe de poeira	161
E.1.0.1 Perfis zonais e meridionais do transporte da poeira	169

1 – INTRODUÇÃO

Os aerossóis são partículas sólidas ou líquidas em suspensão na atmosfera, excluindo os hidrometeoros. Entende-se por partículas desde aglomerados de moléculas até grãos de poeira. Os aerossóis naturais são produzidos devido às reações biogeoquímicas, erupções vulcânicas, borrifamento de sal marinho, erosões eólicas, dentre outros processos. Os aerossóis antrópicos são emitidos como resíduos nos processos de transformações, tais como as queimas de biomassas e combustíveis fósseis, em processos envolvendo usos dos solos, e nos processamentos industriais.

Os aerossóis são de suma importância no sistema climático. Uma vez emitidos para a atmosfera, os aerossóis atuam no balanço radiativo. Os aerossóis espalham a radiação solar e absorvem a radiação terrestre. Os aerossóis atuam também como núcleos de condensações das gotículas dentro das nuvens e na química da atmosfera. Ao retornar para a superfície, os aerossóis atuam no processo de fertilização do solo e oceanos.

Este trabalho é focado no papel da poeira de solo na atmosfera e suas influências nos sistemas sinóticos através dos processos radiativos. Incertezas ainda residem na atuação da poeira como forçante do tempo e clima regional, principalmente nas interações com as radiações e com as precipitações. Desta forma, o objetivo principal deste trabalho é analisar os impactos das interações entre a poeira e as radiações solares e terrestres nas realimentações dos balanços de radiações e energias sobre a Amazônia. Ocasionalmente, secas prolongadas castigam as regiões semiáridas no planeta. Este trabalho assume a Caatinga como uma fonte potencial de emissão de poeira, e analisa o impacto dessas emissões sobre a Amazônia.

O tamanho das partículas de poeira que são emitidas variam desde $0,1 \mu m$ até $50 \mu m$ (DUCE, 1995), sendo que o tamanho das partículas de poeira que efetivamente permanecem em suspensão variam entre $0,1$ e $6 \mu m$ (TEGEN; FUNG, 1994). Historicamente, as partículas de poeiras são separadas em duas classes: particulado fino (diâmetro $\leq 1,0 \mu m$) e grosso (diâmetro $> 1,0 \mu m$). As partículas de poeira menores do que $0,1 \mu m$ aderem facilmente às partículas maiores devido a ação das forças coesivas (eletrostáticas). As partículas maiores do que $6 \mu m$ decantam rapidamente para a superfície devido a ação da gravidade.

A poeira interage com a radiação. A poeira fina aumenta o albedo da atmosfera e sua espessura óptica. Esse aumento da refletividade na radiação solar, reduz a quantidade de energia que chega à superfície, resultando na diminuição da temperatura da superfície e, conseqüentemente, reduzindo as trocas de calor sensível e latente entre a superfície e a atmosfera. A poeira grossa absorve a radiação terrestre aprisionando a energia interna entre as camadas atmosféricas e a superfície, o que resulta na intensificação do efeito estufa. Em ambos os processos, o resultado é a variação da temperatura tanto na atmosfera quanto na superfície.

A poeira também interage com a umidade. As partículas de poeira podem ser eficientes núcleos de condensação. A medida que o vapor de água vai encapsulando as partículas, as propriedades físicas se alteram. A mudança na esfericidade e no índice de refração dessas gotículas influi diretamente no espalhamento da radiação. Durante sua queda, as gotículas coletam uma grande quantidade de partículas de poeira abaixo das nuvens. Outras formas de remoção da poeira é através da turbulência e da gravidade.

A poeira tem sido objeto de estudos a várias décadas. Os estudos: com uso de sensores remotos (KAUFMAN, 1987); *in situ* e com modelagem numérica (GILLETE; PASSI, 1988; DUCE, 1995; KING et al., 1999; GINOUX et al., 2001); com foco no comportamento radiativo na atmosfera (TEGEN; FUNG, 1994); analisando os processos na superfície (KOK; RENNO, 2008); e analisando as composições químicas e variabilidades espaciais e temporais (SOKOLIK; TOON (1999; MAHOWALD et al. 1999, 2003, 2013); preencheram o conhecimento sobre os processos e as consequências da poeira na radiação, biogeoquímica, e saúde humana.

O *Georgia Tech/Goddard Global Ozone Chemistry Aerosol Radiation and Transport (GOCART)* é um modelo de transporte de aerossóis desenvolvido por CHIN et al. (2000) para os estudos de sulfatos. GINOUX et al. (2001) desenvolveram o *GOCART* para estudos da poeira. O *GOCART* mostrou ser um modelo realista no tratamento da poeira. Segundo estes autores, o *GOCART* simula bem a variação sazonal da emissão, transporte e deposição da poeira para todo o globo.

O *Modelo de Circulação Geral Atmosférico do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (MCGA/CPTEC, CAVALCANTI et al., 2002)* está incorporando os gases e aerossóis através da implementação do modelo *Coupled Chemistry Aerosol and Tracer Transport (CCATT, FREITAS et al., 2009b)*. O *MCGA/CPTEC* é um modelo espectral hidrostático euleriano, com transporte semi-lagrangiano. Ele possui vários esquemas de superfície e de física da atmosfera. Entre eles está o código de transferência radiativa desenvolvido no *United Kingdom Meteorology Office (UKMO)*. Este código radiativo é baseado no esquema de transferência radiativa desenvolvida por EDWARDS; SLINGO (1996).

Dentro do *CCATT*, os processos de emissões e sedimentações gravitacionais da poeira são parametrizadas iguais ao do *GOCART/WRF*, versão 3.3. A deposição seca é baseada no esquema de WESELY (1989). A deposição úmida utiliza o fluxo de massa no interior das nuvens para coletar as partículas de poeira. O transporte da poeira é realizado no *MCGA*. E a interação entre a poeira e a radiação ocorre no *UKMO*.

O ciclo de poeira é analisado através dos processos das emissões, sedimentações gravitacionais e deposições secas e úmidas, além do conteúdo de poeira transportado. O balanço radiativo é analisado através dos campos de radiação de onda curta e longa na superfície e no topo da atmosfera. O balanço de energia é analisado através dos campos de temperatura e do fluxo de calor latente e sensível. E por fim o impacto da poeira nestes balanços é analisado através dos campos de precipitações.

As validações das inclusões da poeira no *CCATT/MCGA* serão feitas através de um estudo de caso, onde os conteúdos de poeira simulados são comparados com imagens de satélites, com as espessuras ópticas do *MODIS* e do *AERONET*, e também com perfis de retroespalhamento do *CALIOP*.

Este trabalho é estruturado da seguinte forma. O capítulo 2 faz uma breve revisão sobre as principais características da poeira, levando em conta seu comportamento micro e macroscópico, e os aspectos observacionais e de modelagem. O capítulo 3 descreve a metodologia utilizada na implementação da emissão e deposição da poeira, bem como no acoplamento da poeira com a radiação. O capítulo 4 mostra os resultados obtidos pelas simulações. O capítulo 5 compara os resultados com dados de satélites e de superfícies. O capítulo 6 relata as conclusões obtidas.

2 – Revisão Bibliográfica

Este capítulo faz uma breve revisão sobre o conhecimento atual acerca da poeira mineral. Em primeira instância, a poeira mineral é examinada sob o ponto de vista de partícula. Nesta etapa, a poeira é descrita através do seu comportamento individual. A seguir, a poeira mineral é analisada sob o ponto de vista do processo. Neste contexto, o comportamento coletivo das partículas é descrito através do ciclo da poeira mineral, envolvendo os processos de emissão, transporte e deposição. Esses comportamentos “*microscópicos*” e “*macroscópicos*” são exemplificados através dos estudos observacionais e de modelagem numérica.

Este trabalho utiliza o esquema de emissão de poeira e de deposição gravitacional do *GO-CART/WRF*, a deposição na superfície é o mesmo esquema utilizado pelo *CCATT/BRAMS*, e a deposição úmida utiliza o fluxo de massa durante a precipitação convectiva para a limpeza da atmosfera. O transporte e as interações radiativas da poeira são calculadas dentro do *MCGA/CPTEC*. Assim sendo, uma breve descrição acerca destes modelos serão realizados.

2.1 – As partículas de poeiras minerais

A poeira mineral é composta por partículas sólidas originadas da fragmentação e pulverização das rochas devido a lixiviação, intemperismo, erosão eólica, e bombardeamento por outras partículas. As partículas desagregadas repousam no solo em camadas sobrepostas, unidas pelas forças coesivas de atração entre as partículas e também pela umidade. Devido a sua formação, as partículas de poeira mineral apresentam uma ampla variação de tamanho, formas geométricas e composições químicas.

2.1.1 Distribuição de tamanho das partículas de poeira

As partículas possuem várias propriedades que podem ser utilizadas para descrevê-las, a saber: tamanho, concentração, volume, área da superfície, e massa (SEINFELD; PANDIS, 2006). As distribuições destas propriedades apresentam comportamentos distintos, podendo ser direcionadas para análises específicas, como por exemplo, as distribuições de tamanho das partículas para as análises das interações com as radiações solares e terrestres.

O tamanho é propriedade mais importante usado para descrever o comportamento das partículas dos aerossóis (GIERÉ; QUEROL, 2010). As partículas dos aerossóis possuem tamanhos que variam desde nanômetros a milímetros. A classificação mais aceita é a de 4 modos: nucleação ($10^{-3}\mu m$ até $10^{-2}\mu m$); Aitken ($10^{-2}\mu m$ até $10^{-1}\mu m$); acumulação ($10^{-1}\mu m$ até $1\mu m$); e grossa ($> 1\mu m$). Existem outras classificações que separam os aerossóis entre particulados fino e grosso com limite de separação igual a $> 2,5\mu m$.

As partículas de poeira possuem diâmetros que variam desde $10^{-1}\mu m$ a até $10^3\mu m$. Tradicionalmente, as partículas de poeira mineral são classificadas de acordo com o tipo de solo em que elas são emitidas, sendo: *clay* ($< 1\mu m$); *silt* ($< 25\mu m$ entre $> 1\mu m$); e *sand* ($> 25\mu m$). considerando uma amostragem típica, como a concentração versus os diâmetros das partículas (Figura 2.1), os máximos e mínimos são utilizados como limites para as classificações das partículas.

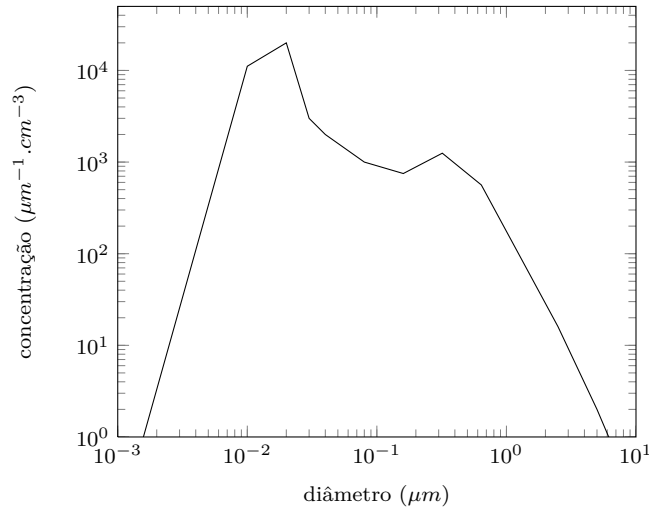


Figura 2.1 - Exemplo de distribuição de propriedades das partículas. Diâmetro versus concentração mostrado em escalas logarítmicas. Valores obtidos da Tabela 8.1 de SEINFELD; PANDIS (2006).

A melhor forma de representar as distribuições das propriedades das partículas é através de funções logarítmicas. Isto ocorre devido as ordens de grandeza dessas propriedades. Por exemplos: os diâmetros das partículas variam desde nanômetros até milímetros (4 ordens de grandeza), e as concentrações das partículas variam até bilhonésimos, que significa 8 ordens de grandeza. No caso das concentrações, as composições químicas e mineralógicas das partículas dependem da geologia de cada região, isto tende a modular tanto a intensidade quanto a posição dos máximos de concentrações nestas distribuições.

Com relação ao diâmetro, os tamanhos mínimos para as partículas de poeira são limitados pelas forças coesivas entre as partículas. Neste extremo, as partículas muito pequenas ($< 0,01 \mu m$) tendem a aderir nas partículas maiores devido a atração eletrostática. Não existe um limite máximo bem definido. Para efeito de classificação, o limite máximo fica em torno de $100 \mu m$ a $1000 \mu m$. Este limite superior depende dos fatores que impedem a suspensão efetiva e a permanência das partículas grandes na atmosfera.

ANDRONOVA et al. (1993) analisaram as distribuições de tamanho e as morfologias das partículas de poeira no solo e em suspensão durante o *Soviet-American Dust Experiment-SADEx*, realizado no Tajiquistão. Eles constataram a presença de uma grande população de partículas dentro do intervalo de 1 a $10 \mu m$. Estes autores relatam também que neste experimento, as partículas analisadas são essencialmente não esféricas, e possuem um fator de alongamento ($l_{max}/l_{min} \approx 1$) para partículas $< 10 \mu m$, e que este fator cresce quase que linearmente até o valor de 2 para partículas entre $100 - 120 \mu m$.

Em suspensão, as partículas de poeira possuem concentrações que variam com a altitude e com o tempo. Estas variações ocorrem devido a gravidade, efeitos aerodinâmicos, aglutinação, condensação, eletrostática, e choques entre as próprias partículas. Dentro do grupo das partículas que conseguem permanecer em suspensão, as partículas maiores e mais densas escorregam dentro do fluxo de ar, e as partículas menores e menos densas são arrastadas juntamente com o fluxo de ar. Esta filtragem por gravidade modifica a concentração das partículas em relação à altura e a região

fonte. Em algum momento a concentração atinge um equilíbrio. Neste instante a abundância dos diferentes tamanhos de partículas estabiliza. Este é provavelmente o valor residual da poeira na atmosfera (LAWRENCE; NEFF, 2009).

Em uma atmosfera não saturada, as partículas de poeira tendem a manter seu raio efetivo (formato). Porém, nas presenças de vapor de água, gases reativos (como os sulfatos), e partículas muito menores, as partículas de poeira podem crescer aglutinando estas partículas menores, e desta forma alterando seu raio efetivo.

Este trabalho utiliza as mesmas configurações dos raios das partículas de poeira do *GO-CART/WRF*, versão 3.3, ou seja: $0,73\mu m$, $1,4\mu m$, $2,4\mu m$, $4,5\mu m$ e $8\mu m$.

2.1.2 Composição química da poeira mineral

As partículas de poeira mineral são compostas principalmente por aglomerados de átomos e moléculas inorgânicas organizados em retículos cristalinos. Assim, as partículas de poeira assumem formas geométricas angulares. Em geral, as partículas de poeira mineral são quimicamente pouco reativas, e não dissolvem com facilidade em contato com a água.

Em teoria, as partículas de poeira mineral reagem pouco com os componentes em suspensão na atmosfera. Assim, eles não alteram significativamente sua composição química. Desta forma, a composição química das partículas de poeira podem ser usadas para identificar suas regiões de origem. Em contrapartida, as partículas de poeira podem serceptoras de vários gases traços reativos. Segundo ZHANG; CARMICHAEL (1999), as partículas de poeira podem reagir com os gases traços troposféricos a base de: enxofre (SO_2); nitrogênio (NO_3 , N_2O_5 , HNO_3); e oxigênio (OH , HO_2 , H_2O_2 , O_3).

SOKOLIK; TOON (1999) relatam que a razão média Si/Al de rochas sedimentares é de 4,04, mas que para a região do Sahel, esta razão é de 3,18 – 3,6, na região do norte do Marrocos é de 2,67 – 2,87, no Arizona é de 4,02 e no Tajiquistão é de 3,06. LAWRENCE; NEFF (2009) descrevem que durante a deposição a concentração da maioria dos elementos são muito semelhantes a concentração média da crosta superficial continental, com uma variação de $\pm 0,2$.

ANDRONOVA et al. (1993) analisaram as composições do solo e das partículas de poeira durante o *Soviet-American Dust Experiment-SADEx*, realizado no Tajiquistão. Eles coletaram as amostras em 0,2 a 2 m de altura, e encontraram a presença dos elementos: Si , Al , Fe , Ca , K , Ti , Mn , P , Sr , Rb , Co , As , Br , Zn , e Pb . A Tabela 2.1 mostra as concentrações destes elementos no solo e nas partículas dos aerossóis dentro deste experimento. Estes autores descrevem também que estes elementos compõem os principais minerais coletados nas partículas de poeira, com destaque: caulinita [$Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$]; montmorilonita [$Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$]; quartzo; mica; carbonatos de cálcio [calcita $CaCO_3$, dolomita $CaMg(CO_3)_2$]; feldspatos [$K(AlSi_3O_8)$] e gipsita [$Al(OH)_3$].

Tabela 2.1 - Concentração dos elementos químicos das partículas de poeira no *SADEX*.
As partículas foram coletados em 3 alturas: 0.2m, 2m e 1.7m.

Solo (ppm)		Aerossol (ppm)		
		0.2 m	2 m	1.7 mt
Si	390000	330000	200000	340000
Al	20000	60000	84000	86000
Fe	15000	17500	18300	16000
Ca	78000	63000	11000	41000
K	30000	16000	6000	19000
Ti	2100	3000	3700	3000
Mn	-	350	370	-
P	-	-	1400	-
Sr	30	300	320	10
Rb	74	100	50	43
Co	3.8	10	<10	4.3
As	6.6	<10	10	10.6
Br	2.7	<10	10	44
Zn	10	50	500	15
Pb	10	20	50	15

Fonte: Adaptado de ANDRONOVA et al. (1993).

BALKANSKI et al. (2007) (citando SOKOLIK; TOON, 1999) e CLAQUIN et al. (1999) relatam que a mineralogia da poeira pode ser descrita pelos 6 principais tipos de minerais: ilita, montmorilonita, caulinita, quartzo, calcita e hematita.

2.1.3 As partículas de poeira e a precipitação

Os aerossóis em suspensão na atmosfera podem atuar como núcleos de condensação de nuvens (*CCN*). Uma parcela em ascensão, aumenta sua umidade relativa a medida que a sua temperatura vai diminuindo. Ao atingir a saturação, o vapor de água condensa ao redor dos núcleos de condensação.

O encapsulamento dos aerossóis pela condensação do vapor de água inicia a formação das gotículas de água e/ou cristalização das partículas de gelo. As gotículas ou cristais de gelo crescem condensando mais vapor de água, ou aglutinando outras gotículas e cristais de gelo (colisões e coalescências). Assim que as gotas ou cristais de gelo atingem a massa crítica, elas superam as forças de sustentação convectiva e precipitam em direção a superfície.

Seguindo esta idéia, o tamanho mínimo das gotículas de água ou cristais de gelo é proporcional ao tamanho do núcleo de condensação. No caso das partículas de poeira, as gotículas ou cristais de gelo encontram uma superfície de adesão que favoreça sua velocidade de crescimento. Ainda mais que, as partículas de poeira são pouco solúveis, ou seja, mantém suas propriedades após a evaporação das moléculas da água.

O número de gotículas de água ou cristais de gelo é proporcional a quantidade de vapor de água na parcela de ar e a concentração de núcleos de condensação. Quanto maior for a concentração de núcleos de condensação, maior será o número de gotículas de água ou cristais de gelo. Se o processo de aglutinação não promover o crescimento das gotas ou cristais de gelo, a taxa de precipitação será baixa, e pode haver a re-evaporação da umidade com a liberação dos núcleos de condensação.

ROSENFELD et al. (2001) descrevem que as nuvens formadas sobre o deserto do Saara, com a poeira

como núcleos de condensação, contém gotículas pequenas e produzem pouca precipitação. Eles notaram que apesar destas nuvens serem profundas, as partículas possuem dimensões menores do que $14\mu m$ (mínimo exigido para precipitação). Neste caso específico, as parcelas podem apresentar excesso de núcleos de condensação e baixa quantidade de vapor de água. Isto produz um excesso de gotículas precipitantes com reduzidas dimensões.

2.1.4 As partículas de poeira e a radiação

As partículas de poeira mineral interagem com a radiação solar e terrestre. A descrição destas interações são através dos parâmetros radiativos (albedo simples, coeficiente de extinção, e assimetria) e nos processos radiativos (reflexão, absorção, e transmitância). Estas interações são extremamente dependentes do tamanho das partículas, da geometria das partículas, de sua composição química, etc.

O efeito imediato das partículas de poeira em suspensão ao interagir com a radiação solar é o aumento da espessura óptica atmosférica. Para condições típicas, 100 a $400mg/m^3$ são necessários para reduzir a visibilidade diurna para 200m (HAGEN; SKIDMORE, 1977). GILLETTE et al. (1993) e FRASER (1993) analisaram a espessura óptica da atmosfera durante eventos de tempestades de poeira no SADEX. Eles relatam que a espessura óptica aumenta fortemente próximo as região fonte (devido a difusão) e decai suavemente ao longo do fluxo do vento.

A poeira mineral é um dos principais aerossóis presente na atmosfera. Os trabalhos iniciais de TEGEN; LACIS (1996) mostraram a importância da contribuição da poeira no balanço radiativo. Eles utilizaram o *Modelo de Circulação Geral-GCM* do *Goddard Institute for Space Studies-GISS*, com duas classes de partículas de poeira, e eles encontraram que a poeira responde por mudanças regionais no fluxo radiativos no topo da atmosfera maiores do que $15 W/m^2$ do total da radiação solar, e de $5 W/m^2$ na terrestre, em média anual.

Segundo DUBOVIK et al. (2002), para modelar os efeitos do aerossol na radiação atmosférica, é necessário resolver a equação da transferência radiativa com as propriedades ópticas dos aerossóis: espessura óptica $\tau(\lambda)$; função de fase $P(\Theta, \lambda)$ (dependência angular do espalhamento da luz); e albedo de simples espalhamento $\omega_0(\lambda)$ (razão entre o espalhamento e o espalhamento+absorção). A espessura óptica junto com a assimetria da fase retrata a magnitude da forçante, enquanto que o albedo simples determina o sinal da forçante (resfriamento/aquecimento).

Contudo, as propriedades das partículas de poeira variam significativamente entre as regiões áridas e desérticas ao redor do globo terrestre. Assim, para um análise climática, é muito importante saber as características das partículas de poeira das diferentes regiões (SOKOLIK; GOLITSYN, 1993).

2.1.5 Eletrificação da poeira

Em geral as partículas agregadas ao solo são eletricamente neutras. Durante o processo de *saltation*, as partículas de poeira adquirem cargas elétricas (SCHMIDT et al., 1998). Estas cargas ocorrem devido ao atrito com outras partículas, e também pela indução das partículas carregadas sobre as partículas neutras. Ao ser levado pelas correntes ascendentes do vento, as partículas de poeira tornam-se o agente de transporte das cargas elétricas da superfície para a atmosfera.

Recentes estudos tem mostrado que os campos elétricos gerados durante o *saltation* auxiliam na emissão das partículas de poeira, reduzindo os limiares do cisalhamento do vento (KOK; RENNO, 2006; RENNO; KOK, 2008). Isto ocorre devido a reduções nas forças coesivas eletrostáticas que unem as partículas ao solo. Desta forma, a eletrificação da poeira intensifica a emissão das partículas.

2.1.6 As partículas de poeira e a saúde humana

Segundo a Organização Mundial da Saúde-OMS (WHO, 1999), as partículas muito pequenas presentes no ar podem ser inaladas e expelidas durante a respiração. Este fato ocorre dependendo da fisiologia do indivíduo e dos fatores relacionados as partículas. A probabilidade de inalação depende do diâmetro das partículas, movimento do ar ao redor das pessoas e da taxa de respiração. A probabilidade de deposição no trato respiratório dependem do tamanho, densidade, forma, carga elétrica, propriedades das superfícies e do padrão de respiração do indivíduo (HEYDER, 2004).

WHO (1999) definem 5 mecanismos de deposição de partículas no sistema respiratório: sedimentação, impacto inercial, difusão (partículas menores do que $0,5\mu m$), interceptação e deposição eletrostática. Sendo que a sedimentação e o impacto inercial são os principais processos.

As partículas maiores que $30\mu m$ são depositadas nas vias aéreas superiores (acima da laringe) devido o impacto inercial. O muco auxilia esta deposição. O restante das partículas são retidos na região traqueo-bronquial. Cerca de 1% da partículas menores do que $10\mu m$ conseguem chegar aos alvéolos.

Ainda segundo WHO (1999), as fibras tem um comportamento peculiar na deposição dentro dos pulmões. A penetração das fibras é uma função do diâmetro ao invés do comprimento, sendo encontrado fibras tão longas quanto $100\mu m$ dentro dos pulmões.

Em geral, as partículas de poeira são expelidas juntamente com a respiração. As partículas que são retidas no sistema respiratório são eliminadas pelos movimentos peristáltico, bronquiolar, limpeza mucociliar (cílios e flagelos), e fagocitose. Contudo, as partículas que permanecem por muito tempo dentro dos pulmões aumentam o potencial de doenças. A Figura 2.2 (extraído de GEHR; HEYDER, 2000) mostra a taxa de deposição nas várias regiões do trato respiratório em relação aos tamanhos das partículas.

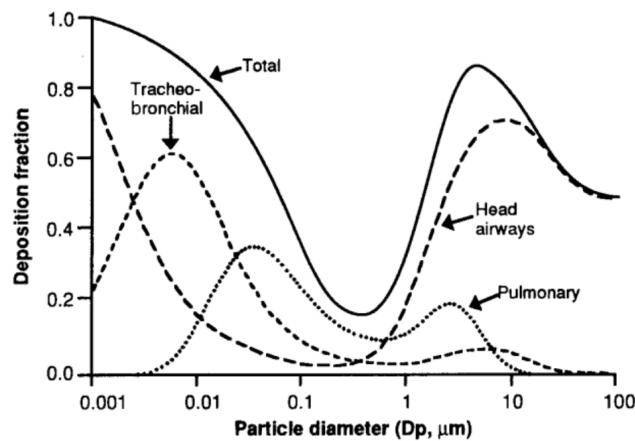


Figura 2.2 - Deposição das partículas no trato respiratório. Extraído de GEHR; HEYDER (2000).

2.1.7 Fertilização pela poeira

A presença de vegetação é o fator mais importante para a proteção da superfície dos solos (OKIN, 2008). Segundo BELNAP; GILLETTE (1998), a maior parte da biomassa da crosta terrestre está concentrada nos primeiros 3mm da superfície do solo. Os solos com uma crosta bem desenvolvida podem ser altamente resistente a erosão eólica. Porém, o bombardeamento por partículas de areia pode rapidamente remover o material da crosta e expor a superfície à ação das erosões dos ventos e da água.

Mas, a erosão eólica transfere as partículas de um local para outro, enriquecendo uma região em detrimento da outra. Após serem depositadas, os componentes químicos das partículas de poeira necessitam ser dissociadas antes de ser assimiladas pelas plantas.

Para o pleno desenvolvimento, as plantas necessitam de água, luz, e uma quantidade balanceada de macro e micronutrientes distribuídos em um substrato com pH adequado. Os macronutrientes básicos são: carbono, oxigênio, hidrogênio (retirados do ar e da água); e nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (retirados do solo). Estes compostos são exigidos em maior volume pelas plantas. Os micronutrientes são: boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, cobalto, níquel e zinco. Estes componentes são necessários em pequeníssimas quantidades pelas plantas (miligramas a microgramas).

A mineralogia da poeira (descrito na seção 2.1.2) é composto basicamente por silicatos (quartzo), argilas (ilita, caulim, montmorilonita), carbonatos (calcita, dolomita) e sulfatos (gipsita) (SOKOLIK et al., 1998). As formas e as quantidades como as partículas de poeira são pulverizadas pelos ventos são extremamente importantes para a fertilização das plantas.

FLAGG et al. (2014) analisaram o fluxo horizontal de sedimentos sobre as regiões semi-áridas do sudeste de Utah, durante o período de 2004 a 2012. Eles mostraram que o fluxo de sedimentação segue o padrão de vento e precipitação, e possui uma alta variabilidade espacial e temporal, sendo na primavera: $12,1 - 128g.m^{-2}.d^{-1}$ (média de $38,1 \pm 5,6g.m^{-2}.d^{-1}$); no verão: $9,3 - 32,1g.m^{-2}.d^{-1}$ (média de $13,1 \pm 0,92g.m^{-2}.d^{-1}$); e no inverno $1,5 - 37g.m^{-2}.d^{-1}$ (média de $5,02 \pm 1g.m^{-2}.d^{-1}$).

2.2 O ciclo da poeira

O ciclo da poeira mineral (Figura 2.3) é constituído pelos processos das emissões, transportes e deposições seca e úmida. Cada uma desta etapa é composta por vários outros processos (Figura 2.4). Esta seção descreve os principais processos associados a este ciclo.

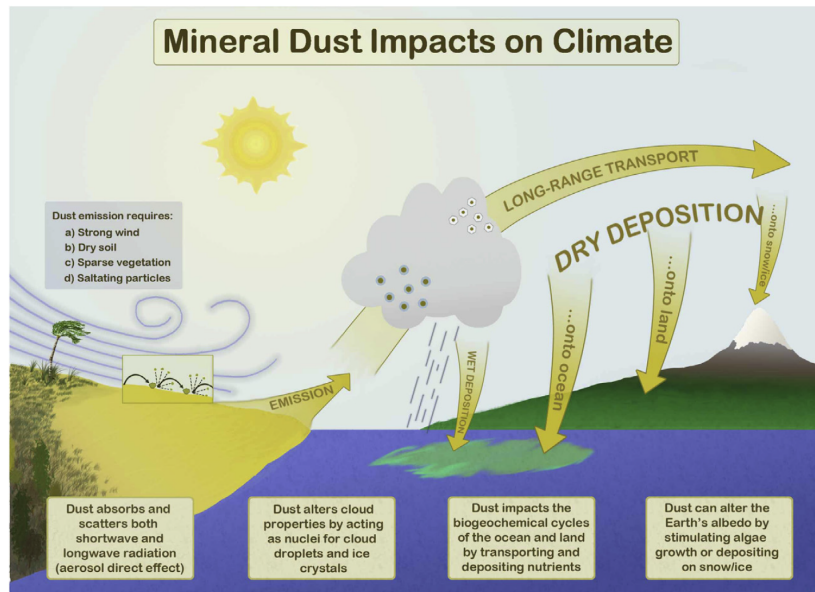


Figura 2.3 - Ciclo da poeira. Extraído de MAHOWALD et al. (2013).

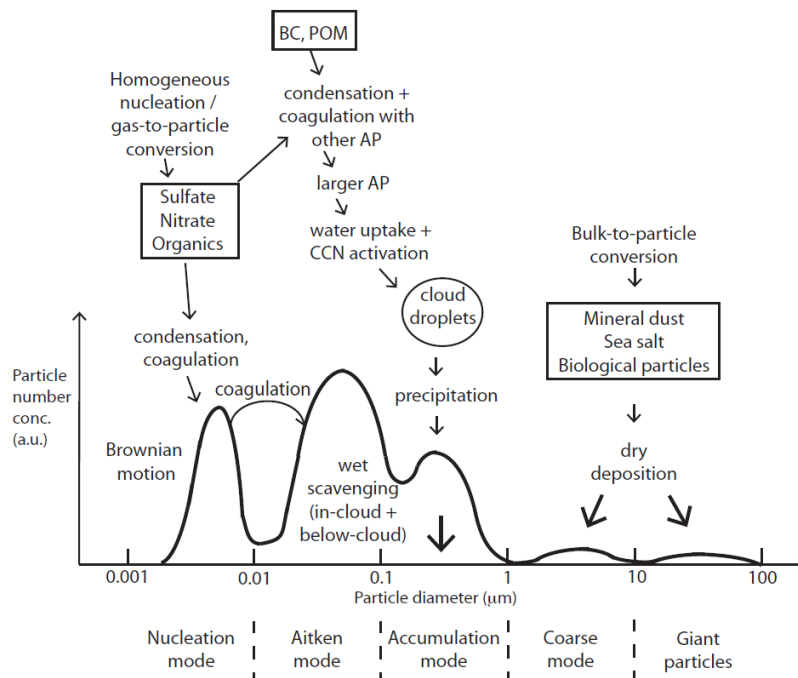


Figura 2.4 - Processos atuantes nas partículas dos aerossóis. (Extraído de www.iac.ethz.ch/edu/courses/bachelor/vertiefung/atmospheric_physics/Script-2012/Script-aerosols.pdf)

2.2.1 – Emissão da poeira

Segundo MARTICORENA; BERGAMETTI (1995), citando BAGNOLD (1941), a emissão de poeira ocorre para velocidades do vento mais altas do que um valor limite e que a produção não é linearmente dependente da velocidade do vento. E que, (citando GILLETTE, 1979) a erodibilidade depende fortemente da textura do solo e das características da superfície do solo (elementos erosíveis e não erosíveis). Para os elementos não erosíveis se destacam: cobertura vegetal, rochas e pedras, estruturas agregadas na superfície do solo, rugosidade, umidade, textura e composição do solo).

Assim sendo, a emissão da poeira ocorre em solos secos das regiões áridas e semi-áridas e sob a ação dos ventos. O principal mecanismo envolvido na emissão da poeira é o cisalhamento do vento. Os outros mecanismos que auxiliam e intensificam a emissão são: *saltation* e as forças elétricas entre as partículas e a superfície. Cada um destes tópicos serão descritos a seguir.

Segundo TEGEN (2003) a correta previsão da magnitude e dos padrões temporais e espaciais da emissão de poeira é crucial para uma simulação realística da magnitude e padrões da poeira atmosférica, sendo este a maior incerteza no ciclo da poeira nos modelos globais. A Tabela 2.2, adaptada de ENGELSTAEDTER et al. (2006), mostra a média anual das emissões de poeira realizada por várias estimativas.

Tabela 2.2 - Estimativas de emissão anual de poeira. Adaptado de ENGELSTAEDTER et al. (2006).

Referência	Norte África (Tg/ano)	Global (Tg/ano)
PETERSON; JUNGE (1971)		500
JAENICKE (1979)	260	
SCHÜTZ (1980)		> 5000
SCHÜTZ et al. (1980)	260	
D'ALMEIDA (1986)	630 – 710	1800 – 2000
TEGEN; FUNG (1994)		3000
DUCE (1995)		1000 – 2000
TEGEN; FUNG (1995)		1222
MEINRAT (1995)		1500
MARTICORENA; BERGAMETTI (1996)	586 – 665	
PROSPERO (1996)	170	
SWAP et al. (1996)	130 – 460	
MAHOWALD et al. (1999)		3000
CALLOT et al. (2000)	760	
PENNER et al. (2001)		2150
GINOUX et al. (2001)		1814
CHIN et al. (2002)		1650
WERNER et al. (2002)		1060 ± 194
TEGEN et al. (2002)		1100
ZENDER et al. (2003)		1490 ± 160
LUO et al. (2003)	1114	1654
MAHOWALD; LUO (2003)		1654
GINOUX et al. (2004)	1430	2073
MILLER et al. (2004)	479 – 589	1018
TEGEN et al. (2004)		1921
KAUFMAN et al. (2005)	240 ± 80	
JICKELLS et al. (2005)		1790
HUNEEUS et al. (2011)–ECMWF	204	
HUNEEUS et al. (2011)–GOCART	1736	
HUNEEUS et al. (2011)–AEROCOM MEDIAN	792	

2.2.1.1 – Cisalhamento do vento

O cisalhamento do vento é o elemento básico na emissão das partículas. As partículas de poeira são unidas ao solo devido ao peso, coesão, e compactação. O peso é a ação da gravidade sobre a massa da partícula. A coesão é a força resultante entre as partículas. E a compactação é a maneira como as partículas estão organizadas no solo, sendo que as partículas menores preenchem os espaços entre as partículas maiores.

O fluxo de ar que desliza sobre as camadas das partículas de poeira na superfície gera uma pequena diferença de pressão entre a parte superior e inferior das partículas. Quando esta diferença de pressão supera as forças que mantêm as partículas unidas ao solo, partículas são extraídas do solo. Segundo WIGGS (1997), citado por WARNER (2004), as partículas grandes com diâmetros entre 40 a 400 μm são as primeiras a ser extraídas.

As partículas com diâmetros inferiores a 60 μm (limite entre silt e areia) são fortemente ligadas as partículas maiores devido às forças atrativas. As observações dos eventos de poeira denotam a existência de partículas com vários tamanhos, inclusive com tamanho menores que 1 μm . Desta forma, o cisalhamento do vento por si só não é capaz de explicar a emissão destas partículas. Assim, existe a necessidade de um mecanismo auxiliar que facilite a emissão das partículas pequenas. Este mecanismo denominado *saltation* será discutido a seguir.

2.2.1.2 – *Saltation*

O *saltation* é o movimento realizado pelas partículas de poeira na forma de saltos consecutivos (Figura 2.5).

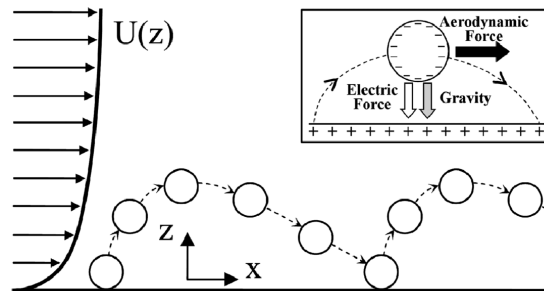


Figura 2.5 - Representação esquemática do *saltation*. Extraído de KOK; RENNO (2008).

O cisalhamento do vento consegue extrair partículas grandes de poeira mineral do solo. Estas partículas de poeira extraídas são arrastadas pelo vento, e adquirem momento horizontal. Devido a rugosidade da superfície, e a ação da gravidade, as partículas rastejantes colidem contra a superfície.

Nos choques entre as partículas e a superfície, as partículas convertem o momento horizontal em momento vertical, e desta forma aumentam a amplitude dos saltos. Porém, durante os choques, parte do momento das partículas pode ser transferidos para a superfície, e desta forma a amplitude dos saltos são reduzidos. Segundo PYE; TSOAR (1990), a altura média dos saltos das partículas de poeira é de 20 cm , sendo observada também a altura máxima de 3 m .

Durante as colisões, novas partículas podem ser expulsas da superfície. Estas partículas expelidas podem ser arrastadas pelo vento e iniciar o movimento de *saltation*. Estes choques entre as partículas e a superfície possuem energia suficiente para superar as forças de coesão entre as partículas grandes e pequenas, e desta forma são capazes de extrair as partículas pequenas da superfície. Caso as partículas extraídas da superfície sejam injetadas diretamente na atmosfera, elas podem ascender junto com a turbulência e ser carregadas pelas correntes de vento.

Durante as colisões, as partículas adquirem cargas elétricas (Figura 2.5, topo a direita). Preferencialmente as partículas grandes se tornam positivas, enquanto que as partículas menores ficam com cargas negativas (SCHMIDT et al., 1998; KOK; RENNO, 2006; RENNO; KOK, 2008). Os campos elétricos que surgem nas superfícies devido as cargas elétricas também auxiliam na emissão de partículas do solo. Este mecanismo será discutido a seguir.

2.2.1.3 – Campo elétrico na superfície

A superfície do solo possui um campo elétrico negativo (cargas negativas). Sob condições de céu claro esse campo elétrico vale aproximadamente 100 V/m . Durante os eventos de poeira, as partículas saltitantes colidem com o solo e adquirem cargas elétricas. Estas cargas elétricas induzem um campo elétrico na superfície.

A força elétrica resultante colabora no levantamento das partículas do solo. KOK; RENNO (2006) observaram que os campos elétricos acima de 80 kV/m reduzem o limite do cisalhamento do vento necessário para o levantamento das partículas. Segundo estes autores, os campos elétricos acima de 150 kV/m pode até mesmo levantar as partículas diretamente do solo. Eles notaram também que a presença dos campos elétricos aumentam o número de partículas saltadoras, o que resulta na intensificação da emissão das partículas de poeira.

Durante os eventos de poeira, o volume de cargas extraídas da superfície é tão grande que o campo elétrico na superfície se torna positivo. Próximo a superfície, existe a presença tanto das partículas positivas quanto negativas. Nesta altura, a população de partículas é composta de partículas grandes e pequenas. Com o aumento da altura, começa haver um predomínio das partículas pequenas e negativas. Por fim, as partículas pequenas ascendem devido a turbulência, com a concentração das partículas de poeira diminuindo exponencialmente com a altura.

2.2.2 – Modelagem da emissão de poeira

Este estudo utiliza o esquema da emissão de poeira do modelo *Georgia Tech/Goddard Global Ozone Chemistry Aerosol Radiation and Transport-GOCART*, que está implementado no modelo *Weather Research and Forecasting-WRF*, versão 3.3. O *WRF* pode ser encontrado em <http://www.wrf-model.org>.

O *GOCART* é um modelo de transporte “*off-line*” desenvolvido por CHIN et al. (2000) para simular a distribuição das espécies de enxofre na atmosfera, e posteriormente utilizado por GINOUX et al. (2001) para estudos da poeira mineral. O *GOCART* resolve a equação da continuidade usando o método do operador “*splitting*”, e dependendo do tipo de aerossol estudado, ele pode incluir as rotinas de emissão, deposição seca e úmida, convecção, difusão, advecção e química.

Segundo GINOUX et al. (2001), o *COGART* utiliza a relação empírica definida por GILLETE; PASSI (1988) para estimar a emissão de poeira, onde o fluxo de emissão das partículas F_p (Equação 2.1) ocorre basicamente devido ao cisalhamento do vento na superfície e as condições de umidade da superfície:

$$F_p = \begin{cases} C S s_p u_{10m}^2 (u_{10m} - u_t) & u_{10m} > u_t \\ 0 & u_{10m} \leq u_t \end{cases} \quad (2.1)$$

onde $C = 1 \mu g.s^2.m^{-5}$ é um fator dimensional, S é a função fonte, s_p é a fração de emissão das partículas onde $s_p = 1/10$ para partículas com tamanho entre $0,1 - 1\mu m$, e $s_p = 1/3$ para as partículas entre $1 - 6\mu m$. u_{10m} é a velocidade do vento em $10m$, A velocidade limite u_t (Equação 2.2, PYE, 1989) para iniciar o entranhamento da poeira na atmosfera depende das forças de coesão entre as partículas, do diâmetro das partículas Φ_p e da umidade do solo na superfície ω :

$$u_t = \begin{cases} A \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_a}{\rho_a} g \Phi_p (1,2 + 0,2 \log_{10} \omega)} & \omega < 0,5 \\ \infty & \omega \geq 0,5 \end{cases} \quad (2.2)$$

onde $A = 6,5$ é um parâmetro adimensional; ω para os solos áridos varia entre $0,001$ e $0,1 g/g$; g é a aceleração da gravidade; ρ_p e ρ_a são as densidade das partículas e do ar, respectivamente.

Em especial, na rotina extraída do *GOCART/WRF*, versão 3.3, a velocidade limite u_t é parametrizada como descrito por MARTICORENA et al. (1997), sendo dada pelas Equações 2.3 e 2.4:

$$u_t = \begin{cases} u_{t^*}(d_p) (1,2 + 0,2 \log_{10} \omega) & \omega < 0,2 \\ \infty & \omega \geq 0,2 \end{cases} \quad (2.3)$$

onde

$$u_{t^*}(d_p) = \frac{0,129 \sqrt{\frac{\rho_p g d_p}{\rho_a}} \sqrt{1 + \frac{0,006}{\rho_p g d_p^{2,5}}}}{\sqrt{1,928 (1331 d_p^{1,56} + 0,38)^{0,092} - 1}} \quad (2.4)$$

onde d_p é o diâmetro das partículas.

Nesta nova configuração, a fração de emissão de partículas apresentam os valores de $1/10$ para as partículas com raio efetivo de $0,73\mu m$, e de $1/4$ para as partículas com raios $1,4\mu m$, $2,4\mu m$, $4,5\mu m$ e $8\mu m$. Note que a fração de emissão, os raios efetivos, e o número de classes de partículas são diferentes da configuração utilizada por GINOUX et al. (2001).

2.2.2.1 – Função fonte de poeira

GINOUX et al. (2001) definem as principais regiões fontes de poeira como sendo os aluviões planos, sem cobertura vegetal e que possuem sedimentos erosíveis pelos ventos. Estes depósitos de sedimentos são resultados da exposição das rochas às intempéries climáticas. Eles definem a função fonte S (Equação 2.5) como a probabilidade da presença de sedimentos acumulados no ponto da grade i :

$$S = \left(\frac{z_{max} - z_i}{z_{max} - z_{min}} \right)^5 \quad (2.5)$$

Esta função relaciona a altitude do ponto com as altitudes máximas z_{max} e mínimas z_{min} do pontos vizinhos em uma área de $10^\circ \times 10^\circ$ (área aproximada das bacias hidrográficas das regiões áridas),

de tal forma a localizar as grandes bacias de sedimentos geológicos.

A função S apenas localiza os sedimentos, não sua quantidade. A quinta potência é utilizada para aumentar o contraste da topografia. GINOUX et al. (2001) aplicaram esta função para as superfícies continentais (Figura 2.6). Os solos expostos foram obtidos a partir dos dados de vegetação do *Advanced Very High Resolution Radiometer-AVHRR*.

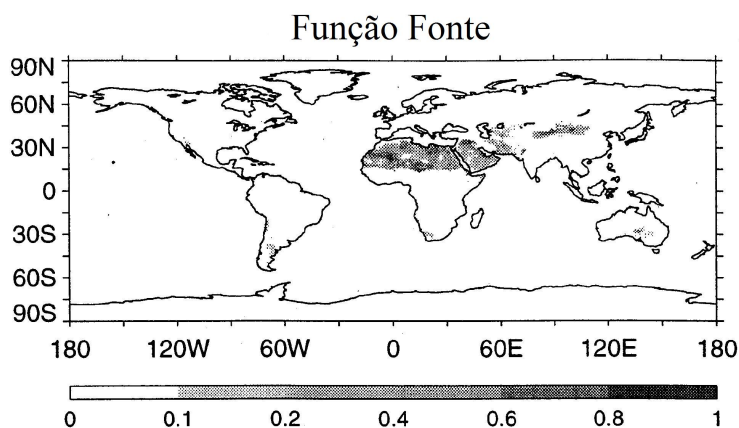


Figura 2.6 - Função fonte de poeira (Extraído de GINOUX et al., 2001). Define a fração da erosibilidade das classes de partículas de poeira (*sand*, *silt* e *clay*), adimensional.

2.3 – Deposição da poeira

A deposição das partículas de poeira da atmosfera para a superfície ocorre através dos processos secos e úmidos. A deposição seca é dividida em duas etapas sucessivas. Na primeira etapa, as partículas de poeira decantam para a superfície sob a ação da gravidade. Este processo é conhecido como “deposição gravitacional” ou “*settling*”. Na segunda etapa, as partículas de poeira que chegam na superfície são fixadas devido as forças coesivas. Este processo é chamado de “*drydep*”.

A deposição úmida possui duas etapas também. A primeira etapa ocorre dentro das nuvens. Ela é conhecido como “*scavening*”. Nesta etapa as partículas de poeira são encapsulada pelo vapor de água. A segunda etapa ocorre abaixo das nuvens. Esta etapa é conhecida como “*washout*”. Neste processo, as gotas de água capturam as partículas de poeira através da colisão.

2.3.1 – Deposição gravitacional

A deposição gravitacional é o movimento das partículas da atmosfera em direção à superfície. Ele ocorre devido a ação da gravidade. As partículas com peso suficiente para vencer o arraste das massas de ar decantam sob a ação da gravidade. Neste caso, o fluxo de deposição das partículas é proporcional à velocidade terminal de queda. Esta velocidade depende basicamente da densidade das partículas e do ar, e também da viscosidade do ar.

2.3.1.1 – Modelagem da deposição gravitacional

Segundo GINOUX et al. (2001) a deposição gravitacional ocorre principalmente para aerossóis grandes. Estes aerossóis possuem a velocidade terminal de queda v_{stk} dado pela lei de Stokes (2.6), modificada pelo fator de *Cunningham*:

$$v_{stk} = \frac{2}{9} \frac{\rho_p g}{\mu} r^2 C_{Cunn} \quad (2.6)$$

onde $\mu = (1,5 \cdot 10^5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$ é a viscosidade absoluta do ar, r é o raio da partícula; e C_{Cunn} é o fator de correção de Cunningham que leva em conta a dependência entre a viscosidade a pressão do ar e a temperatura.

2.3.2 – Deposição na superfície

A deposição na superfície ou deposição seca (“*drydep*”) ocorre através das trocas turbulentas entre a atmosfera e a superfície, e das ligações eletrostáticas e químicas entre as partículas de poeira e a superfície. A troca de partículas de poeira entre a atmosfera e a superfície depende da resistência aerodinâmica dentro da camada superficial, da resistência à difusão molecular dentro da camada quase laminar, e da resistência superficial associada aos processos de adesão (FREITAS et al., 2009b).

2.3.2.1 – Modelagem da deposição na superfície

Segundo GINOUX et al. (2001), no GOCART a deposição seca ocorre através da transferência turbulenta para a superfície e pela decantação gravitacional. Estes autores assumem que a transferência turbulenta da poeira é proporcional a velocidade de deposição v_d na superfície, e que a velocidade de deposição é equivalente a velocidade de troca de calor e umidade com a superfície. Uma vez que as partículas depositadas podem ser suspensas novamente, eles definem uma velocidade de deposição efetiva \hat{v}_d (Equação 2.7):

$$\hat{v}_d = \begin{cases} v_d (\omega + (1 - \omega) e^{-(u_{10m} - u_t)}) & u_{10m} > u_t \\ v_d & u_{10m} \leq u_t \end{cases} \quad (2.7)$$

Segundo FREITAS et al. (2009a), no CATT a deposição seca é simulada usando a aproximação de resistências. Este método foi desenvolvido por WESELY (1989), e recebeu aperfeiçoamentos baseados em ERISMAN et al. (1994). Este método estima a deposição seca das partículas na superfície comparando os comportamentos aerodinâmicos da atmosfera, da subcamada, da vegetação dentro e abaixo do dossel, e da superfície do solo como se fossem resistências elétricas ligadas em séries.

2.3.3 – Deposição úmida dentro das nuvens

A deposição úmida dentro das nuvens ocorre quando as partículas de poeira são embebidas dentro das gotículas de água. Este processo diminui o número de partículas livres em suspensão na atmosfera. Em geral, a poeira ascende verticalmente junto com as parcelas de ar. Quando o resfriamento das parcelas de ar induz a saturação do vapor de água, o vapor de água começará a condensar ao redor das partículas de poeira.

As gotículas de água assim formadas são carregadas pelas correntes ascendentes e descendentes dentro das nuvens. Desta forma as gotículas crescem pela adição de vapor de água e pela aglutinação com outras gotículas (colisão e coalescência). O resultado final é a limpeza da atmosfera no interior da nuvem, com acúmulo de água ao redor das partículas e dentro das gotas. As gotas de água não precipitantes tendem a evaporar e liberar o vapor de água de volta para o meio. Nestes casos as partículas de poeira podem permanecer em suspensão na atmosfera, mantendo as suas propriedades ópticas e radiativas, desde que não tenham sido alteradas suas composições químicas.

2.3.3.1 – Modelagem da deposição úmida dentro das nuvens

Segundo GINOUX *et al.* (2001), no GOCART a deposição úmida atua dentro das nuvens (*rainout*) através da precipitação. Eles modelaram a limpeza úmida da poeira da mesma forma que CHIN *et al.* (2000) o fizeram para os sulfatos.

Contudo, neste estudo a deposição úmida é tratada de um modo simplificado. Ela extrai as partículas de poeira apenas dentro das nuvens convectivas. A forma com que a umidade interage com as partículas de poeira é através do fluxo de massa. Uma vez que a partícula de poeira é extraída de dentro das nuvens convectivas, assume-se que as gotículas precipitam até a superfície.

2.3.4 – Deposição úmida abaixo das nuvens

As gotas de água podem crescer em massa ao ponto do seu peso ultrapassar o limite das forças de sustentação dentro das nuvens e precipitar em direção a superfície. Durante o percurso até atingir a superfície, as gotas de água podem colidir e coletar outras partículas de poeira. Este processo é conhecido como limpeza abaixo da nuvem ou “*washout*”. A forma como isso ocorre depende da área da seção das gotas e da velocidade de queda.

Nesta versão do *CCATT/MCGA*, não existe ainda um esquema de deposição úmida abaixo das nuvens. A deposição úmida ocorre somente dentro das nuvens convectivas.

2.4 – Transporte da poeira

A maior fração do transporte das partículas de poeira ocorre próximo a superfície. Segundo HEATHCOTE (1983), 90% do transporte da areia ocorre dentro de 50 *cm* acima da superfície. WIGGS (1992) estimou que 35% do transporte de areia acontece abaixo de 2,5 *cm* de altura. Assim, o transporte das partículas de areia (partículas grandes) acontece localmente dentro das regiões fontes devido ao arrasto pelos ventos e ao saltation.

Devido as suas dimensões, as partículas grandes permanecem pouco tempo em suspensão na atmosfera (máximo de algumas horas), até mesmo na presença contínua de grandes velocidades de vento. A Figura 2.7 mostra a correlação entre as taxas de transporte de areia e a velocidade de arraste do vento.

O restante da fração do transporte das partículas de poeira ocorre na camada limite e na atmosfera livre. Esse transporte envolve as partículas pequenas. As partículas de poeira pequenas são injetadas na atmosfera pelos processos turbulentos e convectivos.

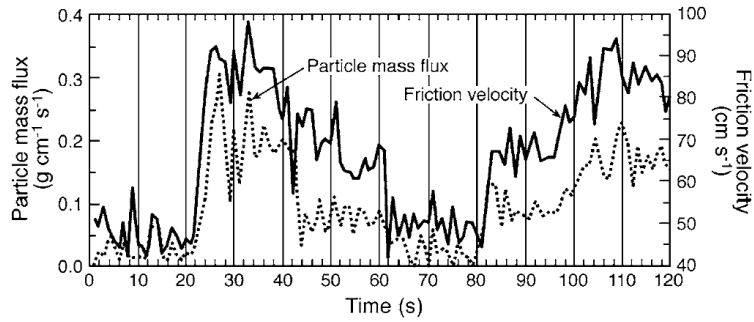


Figura 2.7 - Correlação entre a taxa de transporte de poeira, velocidade de arraste e tempo. Extraído de WARNER (2004).

As partículas pequenas de poeira permanecem em suspensão na atmosfera por longos períodos de tempo (desde horas até dias). Esta prolongada residência é o elo de ligação que permite a poeira atuar dentro dos sistemas meteorológicos de escalas regionais e sinóticas. Assim como estes sistemas de tempo modulam o padrão de transporte das partículas, a poeira interage no balanço radiativo local e desta forma realimenta estes sistemas de tempo.

Em microescala, o “*dust devils*” é principal sistema que atuam sobre as partículas de poeira. Os *dust devils* são vórtices de baixa pressão com núcleos quentes com diâmetros de 1 a 50 m (RENNÓ et al., 1998). Os *dust devils* se tornam visíveis pela presença de particulados, sendo que estes particulados auxiliam o aquecimento do vórtice devido a grande absorção de energia solar (LORENZ, 2004).

Em mesoescala, os *dust storms* são tempestades de poeira que se formam devido as frentes de rajadas provenientes do desentranhamento das nuvens convectivas. Eles são responsáveis pelo levantamento e transporte da poeira à frente da convecção. Nestes eventos convectivos, o aumento das partículas de poeira na atmosfera provocam o aumento da espessura óptica, reduz a incidência da luz visível na superfície e aumenta a absorção da radiação infravermelha.

Na escala sinótica, os sistemas de baixa pressão são os principais responsáveis pela ascensão das partículas de poeira das regiões fontes, e também pelo transporte da poeira para as regiões circunvizinhas. A Figura 2.8 mostra as principais trajetórias e os sistemas sinóticos que atuam na poeira. Note que os grandes desertos são os principais responsáveis pela emissão de poeira.

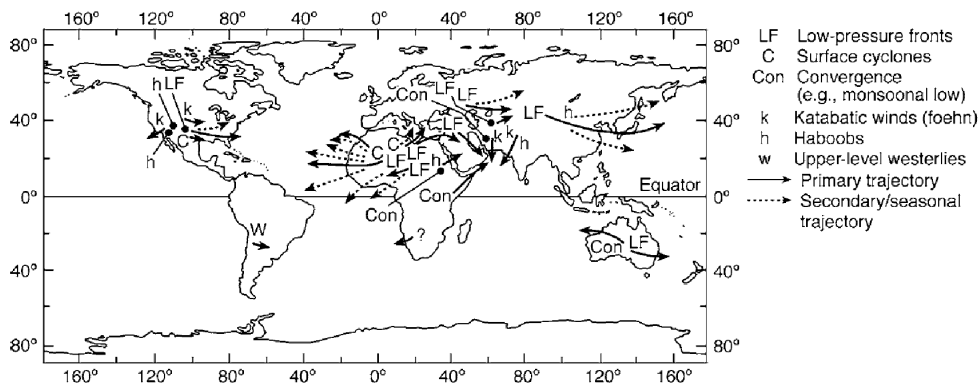


Figura 2.8 - Trajetórias dos principais sistemas atmosféricos que causam tempestades de poeira. Extraído de WARNER (2004).

Neste trabalho o transporte da poeira (difusão e advecção) ocorre através do *MCGA/CPTEC*. Este será descrito a seguir.

2.5 – O modelo *MCGA-CPTEC*

Segundo KINTER et al. (1997), o Modelo de Circulação Global Atmosférico-*MCGA* do *Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies-COLA* evoluiu da união, em 1985, do código de dinâmica espectral global desenvolvido pelo *National Meteorological Center-NMC*, posteriormente *National Center for Environmental Prediction-NCEP*, e das parametrizações físicas de escala sub-grade desenvolvidas pelo *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory-GFDL* da *Universidade de Princeton*, que é coligada a *National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA*. O objetivo inicial do *MCGA/COLA* era a previsão numérica de tempo para médio prazo.

Em novembro de 1994, o CPTEC iniciou operacionalmente a previsão numérica de tempo para todo o globo terrestre com a versão 1.0 do *MCGA/CPTEC/COLA*. Esta versão corresponde a versão 1.7 do *MCGA/COLA* com algumas modificações. Dentre as modificações destaca-se o uso do truncamento triangular ao invés do truncamento romboidal (maior eficiência computacional), as resoluções horizontais e verticais versáteis, e a temperatura média da superfície do mar observada.

A versão 2.0 do *MCGA/CPTEC/COLA* entrou em operação em dezembro de 1998. Esta versão incluiu modificações no tratamento da interação atmosfera-biosfera, novas opções de parametrização da convecção profunda e um novo esquema de difusão horizontal.

Segundo CAVALCANTI et al. (2002), o *MCGA/CPTEC/COLA* é um modelo espectral hidrostático com formulação euleriana. Ele resolve os processos físicos e dinâmicos atmosféricos da seguinte forma:

- Os processos de superfície: são simulados pelo *Simplified Simple Biosphere Model (SSiB)* (XUE et al., 1991);
- A radiação de onda curta: segue o esquema de LACIS; HANSEN (1974) e DAVIES (1982);
- A radiação de onda longa: segue o esquema de HARSHVARDHAN et al. (1987);
- A interação da radiação com as nuvens: segue o esquema de HOU (1990) e KIEHL et al. (1994), enquanto que as nuvens são previstas através do método de SLINGO (1987);
- A convecção profunda e precipitação convectiva: seguem com os esquemas de Kuo (KUO, 1974) e de método de relaxamento de Arakawa-Schubert (MOORTHI; SUAREZ, 1992);
- Os processos de convecção rasa: seguem o esquema de TIEDTKE (1983);
- A difusão vertical na camada limite planetária: segue o esquema de fechamento de (MELLOR; YAMADA, 1982); e
- Os processos de difusão horizontal: são do tipo bi-harmônicos para controle do ruído em pequena escala.

Segundo FIGUEROA et al. (2006), o *MCGA/CPTEC/COLA* recebeu também a inclusão: dos esquema de cumulus de GRELL; DEVENYI (2002); e esquema da convecção rasa de TIEDTKE (1989);

e o aperfeiçoamento no tratamento da radiação solar de onda curta através do *CliRadSW* (CHOU; SUAREZ, 1999; TARASOVA; FOMIN, 2000).

BARROS (2005) reformulou o *MCGA/CPTEC* inserindo o esquema semi lagrangiano para o tratamento da advecção.

2.5.1 – O modelo de radiação *UKMO*

O *Short Wave Solar Radiation-SWRAD* foi o primeiro esquema de radiação solar do *MCGA-CPTEC/COLA*. Ele é derivado das parametrizações de LACIS; HANSEN (1974). O *SWRAD* simula as linhas de absorção da H_2O e O_3 , assim como a reflexão das moléculas na atmosfera e das nuvens, mas não contabiliza a absorção do O_2 , CO_2 e aerossóis, e analisa o espectro solar nas faixas de $0.2 - 0.7 \mu m$ (ultravioleta e visível) e $0.7 - 4 \mu m$ (infravermelho próximo).

TARASOVA et al. (2006) implementaram e aperfeiçoaram o *CLIRAD-SW* (desenvolvido por CHOU; SUAREZ, 1999) no *MCGA/CPTEC*. Este código de radiação considera o efeito da absorção dos gases e partículas espalhadoras. Ele parametriza as linhas de absorção da H_2O , O_3 , O_2 e CO_2 , e também considera as propriedades de absorção e espalhamento dos aerossóis e das nuvens. Ele analisa 8 bandas espectrais distribuídas pelo espectro solar dentro das regiões do ultravioleta, visível e infravermelho próximo.

Recentemente CHAGAS; BARBOSA (2008) implementaram o modelo de radiação de onda curta e longa do *UK Met Office-UKMO* no *MCGA/CPTEC*. Esse modelo de radiação utiliza o esquema de transferência radiativa desenvolvida por EDWARDS; SLINGO (1996). Segundo CHAGAS; BARBOSA (2008) o *UKMO/MCGA/CPTEC* é um modelo de radiação que utiliza os perfis de temperatura, pressão, umidade, nuvens, gases e aerossóis para avaliar os fluxos radiativos e calcular as taxas de aquecimento. O *UKMO* (EDWARDS et al., 2003) calcula os fluxos radiativos através da método “*two-stream*” tanto para a radiação solar quanto para a infravermelha, dividido em várias bandas espectrais.

Dentro de cada banda espectral, o código radiativo calcula as propriedades de espalhamento e absorção. Estes cálculos são realizados assumindo a banda monocromática. Isto é realizado para cada espécie (gotas de água, cristais de gelo, gases e aerossóis). A seguir, as equações são resolvidas através da aproximação *two-stream* (fluxo ascendente e descendente). Posteriormente, os resultados são incrementados e agrupados dentro da faixa espectral.

2.5.2 – O modelo *CCATT*

O *Coupled Aerosol and Tracer Transport (CATT)* é um modelo para o cálculo das concentrações de massas dos gases traços (resultantes das atividades urbanas, industriais e veiculares), e das partículas de aerossóis derivados da queima de biomassa. Este modelo inclui, em escala sub-grade, os efeitos da turbulência, deposição seca e úmida e a injeção das plumas de fumaça das queimadas (FREITAS et al., 2009a).

O modelo *Coupled Chemistry Aerosol and Tracer Transport (CCATT)* é o *CATT* com a inclusão de reatividade química. O *CCATT* inclui a química aquosa, fotoquímica, limpeza úmida e deposição

seca (LONGO et al., 2013). O *CCATT* é utilizado para estudos da química atmosférica local e regional tanto para a superfície quanto para a baixa estratosfera.

O *CATT* e seguido *CCATT* foram inicialmente acoplados ao *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS, Figura 2.9)*, para os cálculos dos emissões e transportes dos gases traços e aerossóis. O *BRAMS* é baseado no *Regional Atmospheric Modeling System (RAMS, WALKO et al., 2000)* com vários aperfeiçoamentos associados com a convecção cumulus, umidade de solo, esquema de superfície, entre outros (FREITAS et al., 2009a).

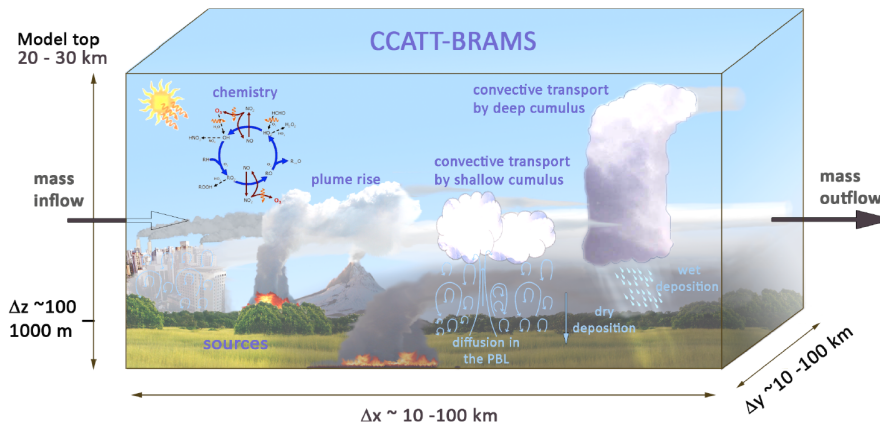


Figura 2.9 - Esquema do modelo *CCATT-BRAMS*. Extraído de LONGO et al. (2013) Processos sub-grade envolvendo as emissões, transportes, transformações, e deposição dos gases e aerossóis.

Segundo LONGO et al. (2013), a deposição seca na superfície dentro do *CCATT*, segue a formulação de resistências, contabilizando a resistência da camada aerodinâmica quase laminar e a resistência do dossel. Adicionalmente o *CCATT* está totalmente acoplado com a parametrização da superfície, incluindo o tipo de superfície sub-grade dentro da parametrização.

3 – Implementação da Poeira no *MCGA/CPTEC*.

Este capítulo descreve, sob o ponto de vista computacional, a implementação das rotinas de emissão e deposição da poeira no *CCATT/MCGA* e o acoplamento dos perfis de poeira no código de radiação *UKMO/MCGA*.

As rotinas aqui são descritas graficamente através de fluxogramas. Os símbolos que descrevem as atitudes e decisões seguem a convenção descrita por [CHAPMAN \(1998\)](#). O *MCGA* é um conjunto de rotinas em linguagem fortran e shell scripts distribuídos em 6 diretórios (Figura 3.1). O diretório *pre* contém as rotinas do pré processamento. O diretório *model* contém as rotinas do processamento. O diretório *pos* contém as rotinas do pós processamento. O diretório *run* contém os scripts de submissão e os arquivos de configuração. O diretório *grh* contém as rotinas do history. O diretório *utils* contém as tabelas do formato grib. No caso da poeira, as rotinas específicas estão alocadas nos diretórios *pre* e *model*. Neste trabalho somente as rotinas que envolve a implementação da poeira serão explicadas.

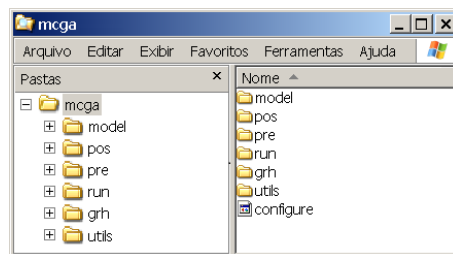


Figura 3.1 - Visão geral do *MCGA*. Os algoritmos e scripts são alocados em 6 diretórios distintos: *pre*, *model*, *pos*, *run*, *grh* e *utils*. As rotinas de poeira estão alocados nos diretórios *pre* e *model*

3.1 – *pre*: o pré processamento

O objetivo do pré-processamento é definir as condições iniciais para o processamento. O diretório *pre* contém os subdiretórios (Figura 3.2): *databcs*, *datain*, *scripts*, *sources* e *GetImaxJmax*. A implementação da poeira envolve os subdiretórios *databcs*, *sources* e *scripts*.

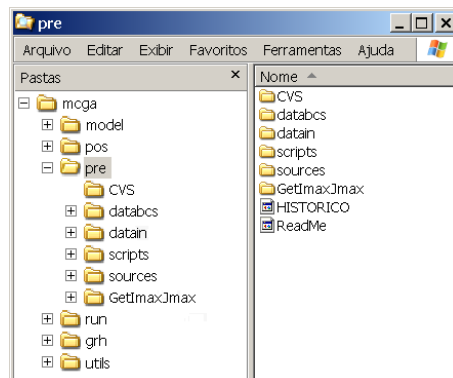


Figura 3.2 - O subdiretório *pre*. Os arquivos utilizados na implementação da poeira estão nos subdiretórios *databcs*, *sources*, *scripts*.

3.1.1 – *pre/databcs*: banco de dados do pré processamento

O subdiretório *pre/databcs* (Figura 3.3-a) contém os arquivos de albedo, vegetação, temperatura da superfície do mar, solo, etc. O arquivo da fração de erosibilidade *SoilErosion.dat* está localizado dentro do subdiretório *pre/databcs/GTOPO30* (Figura 3.3-b). A fração de erosibilidade define a probabilidade de emissão de poeira, e determina as regiões com potencial de emissão. Este arquivo foi extraído do *GOCART/WRF*.

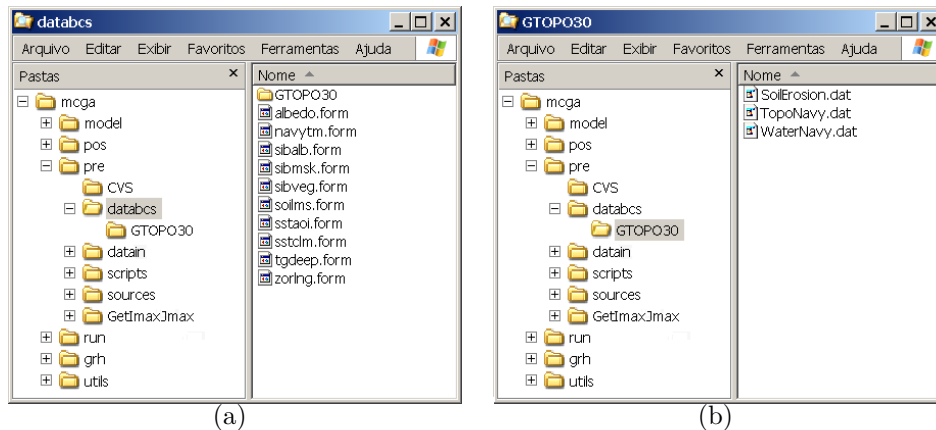


Figura 3.3 - Visão geral do *pre/databcs* e *pre/databcs/GTOPO30*. O arquivo *SoilErosion.dat* contém os valores da fração de erosibilidade.

Este trabalho assume a hipótese de desertificação da Caatinga. A idéia básica é transformar o semi-árido em árido. Uma consequência desta hipótese é tornar a Caatinga uma região emissora de partículas de poeira, ou seja, incluir esta região no arquivo de fração de erosibilidade.

Segundo o *Ministério do Meio Ambiente* (www.mma.gov.br/biomas/caatinga/mapa-de-cobertura-vegetal) a Caatinga abrange uma área de 825.750 km^2 , subdivida em 201.428 km^2 de vegetação nativa florestal, 316.889 km^2 de vegetação nativa não florestal, 299.616 km^2 de áreas antrópicas, e os restantes 7.817 km^2 de água. O clima da Caatinga varia desde o super-úmido (pluviosidade $\approx 2000 \text{ mm/ano}$) até o semi-árido (pluviosidade entre $300 - 500 \text{ mm/ano}$), com chuvas restritas a poucos meses durante o ano, e delimitada pela orografia (serras com 1000 a 2000 m de altura). A vegetação é constituída de Savana, Cerrado e Mata Atlântica.

As Figuras 3.4a, 3.4b e 3.4c mostram as frações de erosibilidade do *GOCART/WRF* para as três classes de partículas: *sand*, *silt* e *clay*, e as Figuras 3.4d, 3.4e e 3.4f mostram a inclusão da fração de erosibilidade sobre a Caatinga.

Os valores da fração de erosibilidade foram inseridos na Caatinga utilizando os polígonos da base climatológica da seca do *IBGE* (Figura 3.5). As subregiões como maior número de meses de seca receberam os maiores valores de fração de erosibilidade para a região (4%). As regiões adjacentes receberam valores com um acentuado decaimento. Somente as regiões com índice de secas acima de 6 meses (inclusive) foram utilizados. Os dados foram obtidos no formato shapefile em ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_interativos, arquivo: *climas.zip*.

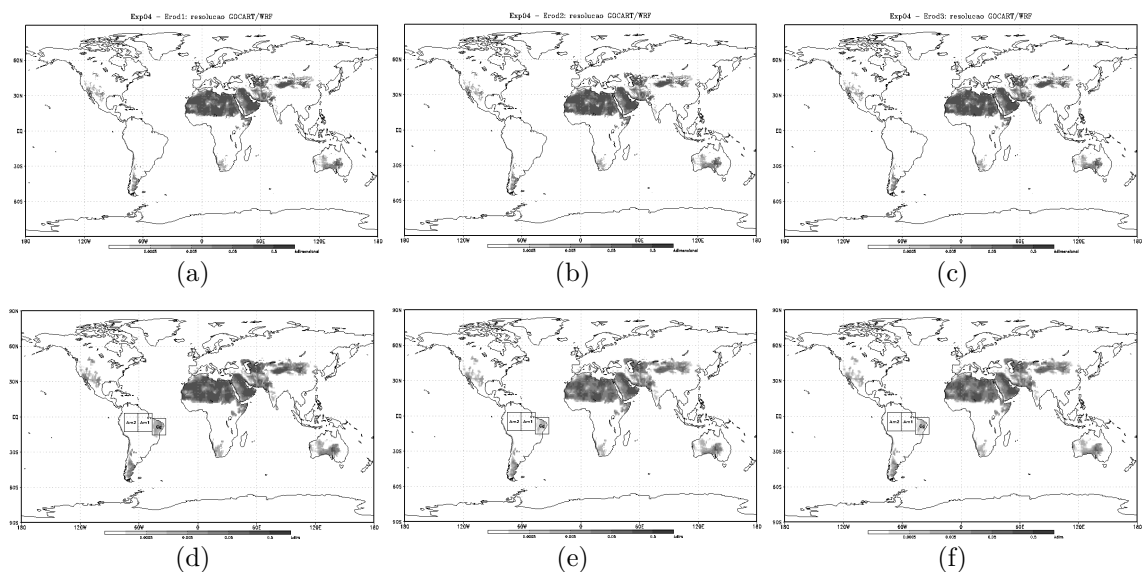


Figura 3.4 - Fração de erosibilidade extraído do *GOCART/WRF*. As figuras do topo são a fração de erosibilidade do *GOCART/WRF*. As figuras de baixo possuem o acréscimo da fração de erosibilidade sobre a Caatinga. *Sand*: (a) e (d), *Silt*: (b) e (e), e *Clay*: (c) e (f).

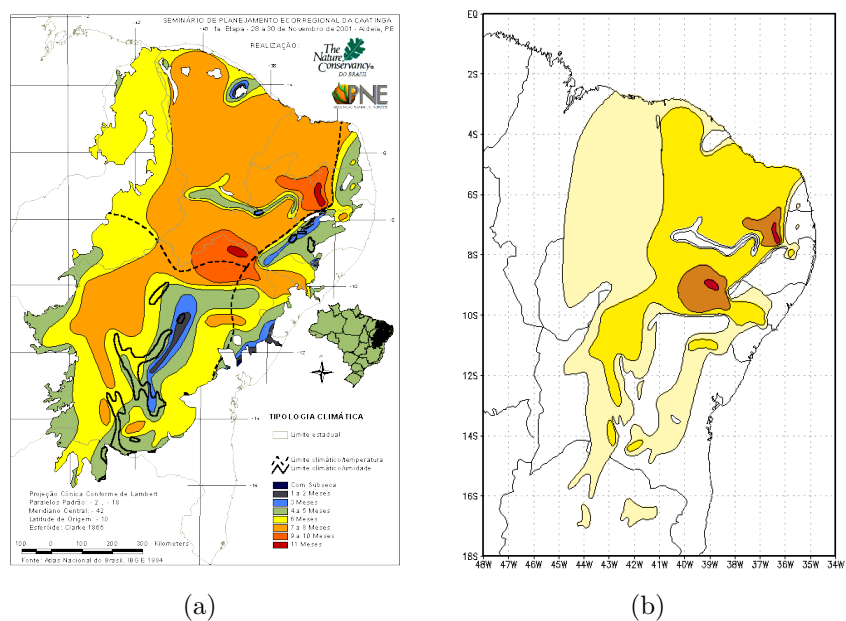


Figura 3.5 - (a) climatologia da seca do *IBGE*. (b) Polígonos selecionados. Foram extraídos somente os polígonos que representam a seca acima de 6 meses, inclusive.

A Figura 3.6 mostra a fração de erosibilidade assumida para a Caatinga nas resoluções do *GOCART/WRF*, e também a fração resultante do pré-processamento na resolução do *CCATT/MCGA*. Os maiores valores de erosibilidade correspondem aos polígonos de 11 meses de seca. Os polígonos das regiões com seca abaixo de 6 meses foram excluídos. A diferença de valores e posicionamento da erosibilidade sobre a Caatinga é devido a mudança de resolução durante o processo de interpolação no pré processamento.

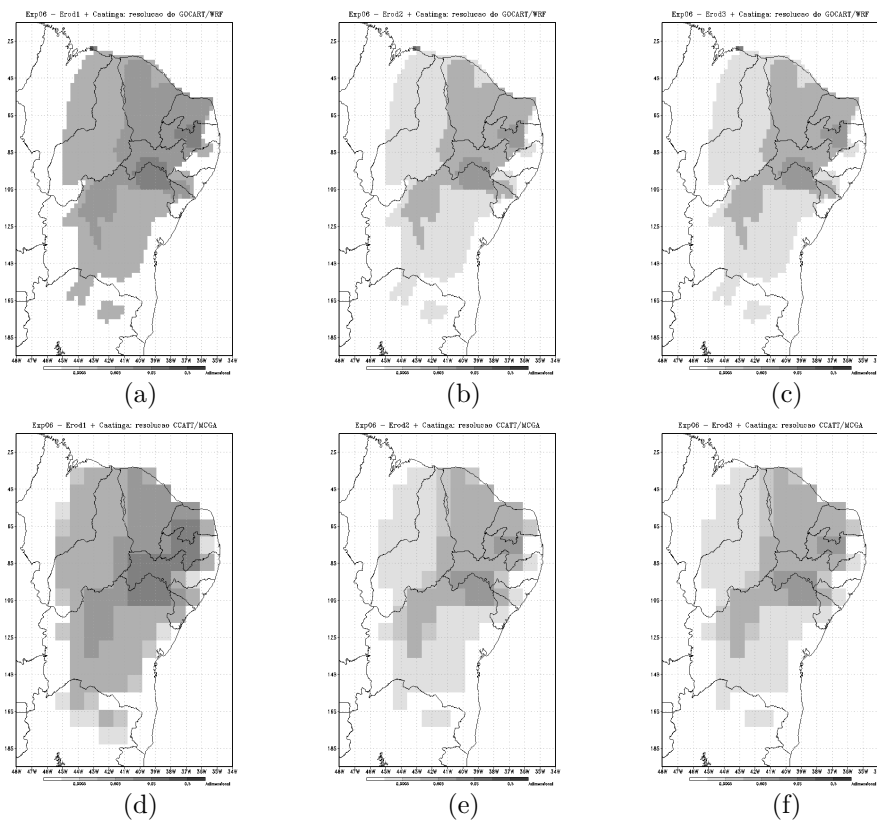


Figura 3.6 - Fração de erosibilidade da Caatinga após pré-processamento. Topo: resolução do *GOCART/WRF*. (a) Sand. (b) Silt. (c) Clay. Abaixo: resolução do *CCATT/MCGA*. (a) Sand. (b) Silt. (c) Clay.

Neste trabalho um estudo de caso é efetuado analisando a interação da poeira emitida pela Caatinga com a radiação e outros parâmetros meteorológicos sobre a Amazônia. As análises são feitas para três áreas: Caatinga (*Ctg*, 47W-33W e 15.5S-1.5S); Amazônia Oriental (*Am1*, 60W-47W e 12.5S-3N); e Amazônia Ocidental (*Am2*, 75W-60W e 12.5S-3N). A Figura 3.7 mostra a localização destas três áreas de análises.

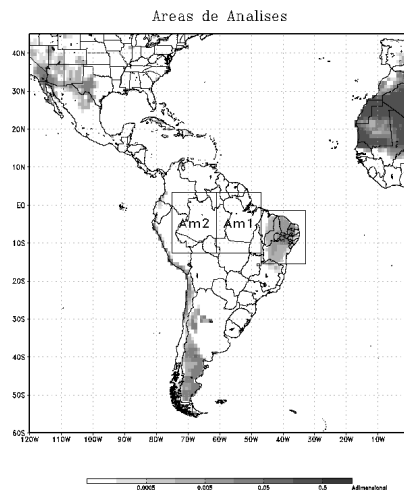


Figura 3.7 - Áreas de análises da interação poeira-radiação. *Ctg*, *Am1* e *Am2* significam: Caatinga, Amazônia Oriental e Amazônia Ocidental.

3.1.2 – *pre/sources*: algoritmos do pré processamento

O subdiretório *pre/sources* contém 22 subdiretórios onde ficam alocados os algoritmos do pré processamento (Figura 3.8). Em especial, o subdiretório *pre/sources/SoilErosion* contém o algoritmo que interpola o mapa de fração de erosibilidade da poeira na resolução em que vai ser executado no *MCGA*.

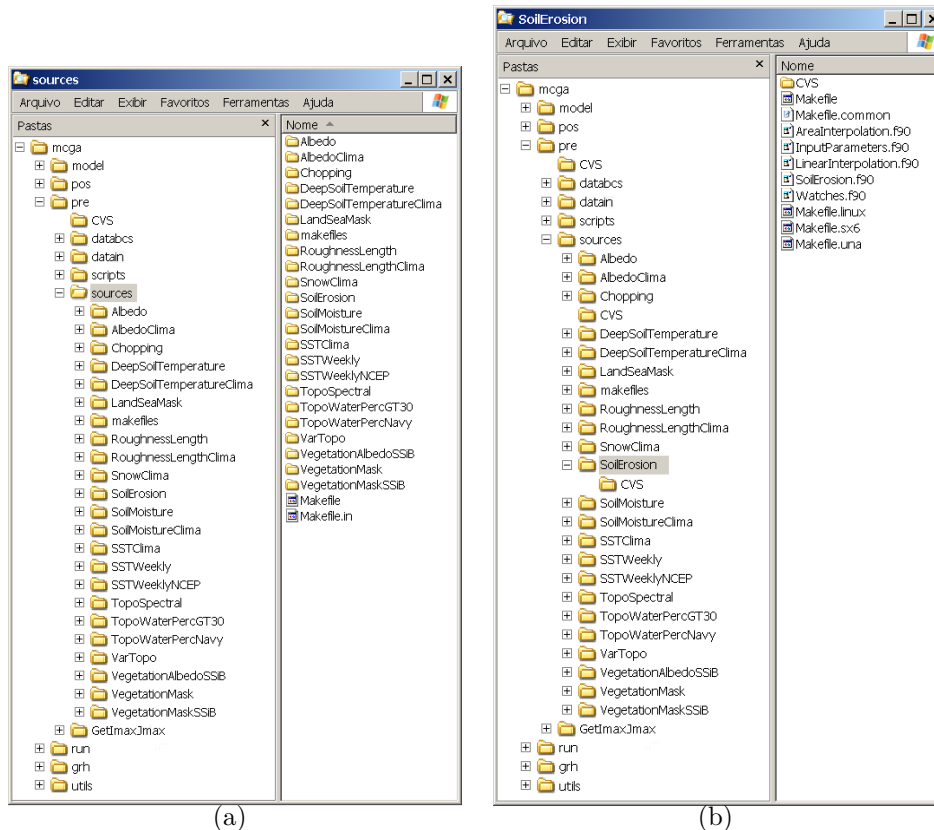


Figura 3.8 - (a) O subdiretório *pre/sources* contém 22 subdiretórios de alocação dos algoritmos. Cada algoritmo edita as condições iniciais na resolução de execução do *MCGA*. (b) O subdiretório *pre/sources/SoilErod* contém o algoritmo de pré processamento da fração de erosibilidade.

3.1.2.1 – *pre/sources/SoilErosion*: fração de erosibilidade

O algoritmo *SoilErosion.f90* está localizado dentro do subdiretório *pre/sources/SoilErosion* (Figura 3.8-b). O objetivo deste algoritmo é interpolar o arquivo de erosibilidade para a grade do *MCGA*. O algoritmo realiza a leitura do arquivo de erosibilidade do *GOCART/WRF* com resolução de 720 linhas por 1440 colunas, 3 camadas de fração de erosibilidade, e projeção retangular. A seguir, o algoritmo interpola a erosibilidade na resolução e projeção para o modelo *MCGA*. A resolução do arquivo de erosibilidade interpolado foi de 192 linhas por 384 colunas. Estes valores são decorrentes da escolha da resolução espectral durante a instalação do modelo.

As 3 camadas do arquivo de erosibilidade representam as classes de partículas de poeira (GINOUX et al., 2001): *sand* ($> 25\mu\text{m}$), *silt* ($< 25\mu\text{m}$ e $> 1\mu\text{m}$) e *clay* ($< 1\mu\text{m}$). *Sand* são as maiores partículas

de poeira composto basicamente de areia, *silt* são as partículas de poeira com tamanho médio, compostas basicamente por partículas de quartzo e feldspato e *clay* são as menores partículas de poeira compostas basicamente por argila (hidróxido de alumínio, óxidos de metais e matéria orgânica).

3.1.3 *pre/scripts* – Compilação do Pré Processamento

Os algoritmos do pré processamento são compilados através dos scripts de compilação armazenados em *pre/scripts* (Figura 3.9). Apesar de cada algoritmo possuir um script de compilação individual, todos estes scripts são gerenciados pelo arquivo *pre/sources/Makefile*. A compilação gera os executáveis. Contudo, a seleção de quais executáveis serão utilizados durante o pré processamento é feita através da configuração do script *run/runPre*. No caso específico da poeira, o script de compilação é o *run_SoilErosion.bash*.

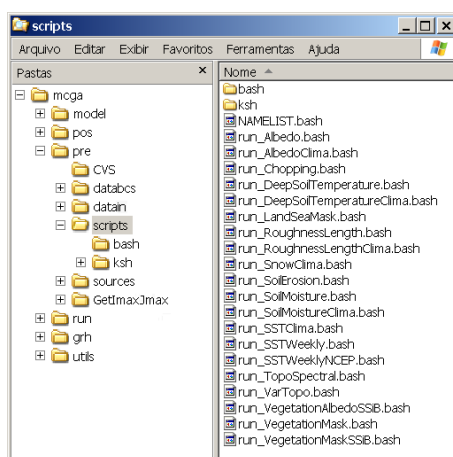


Figura 3.9 - O subdiretório *pre/scripts* contém os scripts de compilação. Os scripts são executados através do arquivo */pre/sources/Makefile*.

3.2 – *model*: o processamento

O subdiretório *model* (Figura 3.10) é composto de 2 subdiretórios: *datain* e *source*. O subdiretório *datain* armazena os arquivos auxiliares e de configuração, enquanto que o subdiretório *source* armazena os arquivos dos algoritmos do *MCGA* e do *CCATT*.

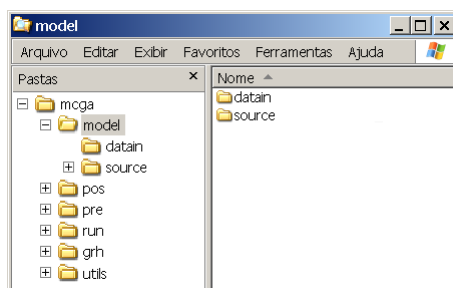


Figura 3.10 - O subdiretório *model* contém os subdiretórios *datain* e *source*.

3.2.1 – *model/datain*: arquivos auxiliares

No subdiretório *model/datain* (Figura 3.11) estão armazenados os arquivos auxiliares e de configuração do processamento. Neste subdiretório existem 3 arquivos que foram alterados para permitir o acoplamento das rotinas de poeira no *MCGA*, a saber: *DiagDesiredTable.clm*, *sp_lw_hadgem1_3* e *sp_sw_hadgem1_3r*.

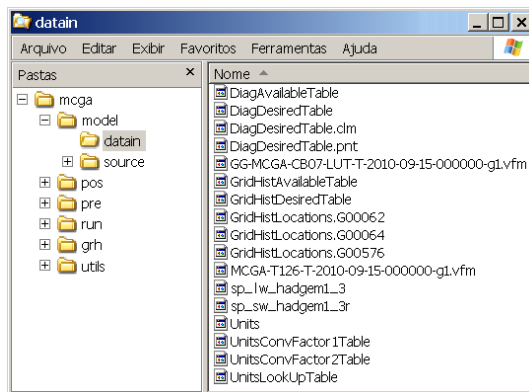


Figura 3.11 - O subdiretório *model/datain* contém os arquivos auxiliares do processamento. Em especial: *DiagDesiredTable.clm* contém as variáveis que serão extraídas nos arquivos prognósticos; *sp_lw_hadgem1_3* e *sp_sw_hadgem1_3r* que configuram os gases e aerossóis no código de radiação.

O arquivo *DiagDesiredTable.clm* contém as descrições das variáveis que serão editadas nos arquivos prognósticos durante o processamento. As variáveis prognósticas escolhidas são descritas na Tabela 3.1. O “padrão da nomenclatura” é comparado com o padrão definido na variável *avail*, dentro da rotina *model/source/Diagnostics.f90*, e desta forma as variáveis prognósticas são selecionadas. O *nível* é o código que representa a superfície (valor: 1), e a atmosfera (valor: 2), ou seja, um nível para as variáveis de superfície, e todos os níveis para as variáveis atmosféricas. A quantidade de níveis são definidas no arquivo de configuração *run/MODELIN*. A *unidade* da variável é codificada. Os valores dos códigos são declarados na variável *aunits*, na rotina *pos/source/Conversion.f90*. No caso da poeira, o código 120 significa $kg/(m^2.s)$, e o 280 significa $\mu g/m^3$. A *classe* possui valor 0.

Os arquivos *sp_lw_hadgem1_3* e *sp_sw_hadgem1_3r* contém as descrições das características dos gases e aerossóis na faixa de comprimento de onda do infravermelho e visível, respectivamente. Estes valores são utilizados pelo código de radiação *UKMO*. A alteração ocorreu da seguinte forma: os valores dos parâmetros da poeira climatológica foi nulificada, e os seus valores foram redistribuídos para as 5 variáveis adicionadas que correspondem as 5 classes de partículas de poeira definidas no CCATT. Os valores são posicionados de acordo com o tamanho das partículas. Os valores são mostrados na seção 3.4.

Tabela 3.1 - Variáveis prognósticas adicionadas. As variáveis presente no arquivo *DiagDesiredTable.clm* faz com que elas sejam extraídas para os arquivos prognósticos.

padrão de nomenclatura (<i>avail</i>)	nível	unidade	classe
Dust SFC Emission (0.73um)	1	120	0
Dust SFC Emission (1.40um)	1	120	0
Dust SFC Emission (2.40um)	1	120	0
Dust SFC Emission (4.50um)	1	120	0
Dust SFC Emission (8.00um)	1	120	0
Dust SFC Total Settling (0.73um)	1	120	0
Dust SFC Total Settling (1.40um)	1	120	0
Dust SFC Total Settling (2.40um)	1	120	0
Dust SFC Total Settling (4.50um)	1	120	0
Dust SFC Total Settling (8.00um)	1	120	0
Dust PRF Settling Concentration (0.73um)	2	280	0
Dust PRF Settling Concentration (1.40um)	2	280	0
Dust PRF Settling Concentration (2.40um)	2	280	0
Dust PRF Settling Concentration (4.50um)	2	280	0
Dust PRF Settling Concentration (8.00um)	2	280	0
Dust SFC Dry Deposition (0.73um)	1	120	0
Dust SFC Dry Deposition (1.40um)	1	120	0
Dust SFC Dry Deposition (2.40um)	1	120	0
Dust SFC Dry Deposition (4.50um)	1	120	0
Dust SFC Dry Deposition (8.00um)	1	120	0
Dust SFC Total Wet Deposition (0.73um)	1	120	0
Dust SFC Total Wet Deposition (1.40um)	1	120	0
Dust SFC Total Wet Deposition (2.40um)	1	120	0
Dust SFC Total Wet Deposition (4.50um)	1	120	0
Dust SFC Total Wet Deposition (8.00um)	1	120	0
Dust PRF WetDep Concentration (0.73um)	2	280	0
Dust PRF WetDep Concentration (1.40um)	2	280	0
Dust PRF WetDep Concentration (2.40um)	2	280	0
Dust PRF WetDep Concentration (4.50um)	2	280	0
Dust PRF WetDep Concentration (8.00um)	2	280	0
Dust PRF Concentration (0.73um)	2	280	0
Dust PRF Concentration (1.40um)	2	280	0
Dust PRF Concentration (2.40um)	2	280	0
Dust PRF Concentration (4.50um)	2	280	0
Dust PRF Concentration (8.00um)	2	280	0

3.2.2 – *model/sources*: os algoritmos

O objetivo do processamento é resolver numericamente as equações de Navier-Stokes, termodinâmica, e os processos físicos da atmosfera e de superfície, incluindo a emissão e deposição de poeira. O subdiretório *model/sources* (Figura 3.12) contém os algoritmos do processamento do *MCGA*.

Os algoritmos do CCATT estão distribuídos nos subdiretórios *model/sources/ccatt* e *model/sources/ccatt/CB07* (Figura 3.13-a e b). O algoritmo de emissão de poeira está localizado no arquivo *ChemDustDriver.f90*. O algoritmo de deposição gravitacional está localizado no arquivo *ChemMcgaSedimDriver.f90*. O algoritmo de deposição úmida está dentro do arquivo *ChemMcgaWetDepDriver.f90*. O algoritmo de deposição seca está dentro do arquivo *ChemDryDep.f90*. Os outros arquivos são as interfaces para acoplamento das variáveis vindo do *MCGA/CPTEC*.

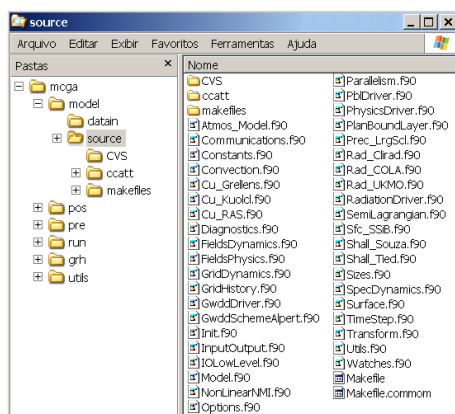


Figura 3.12 - Subdiretório *model/sources*. Os algoritmos do *MCGA*.

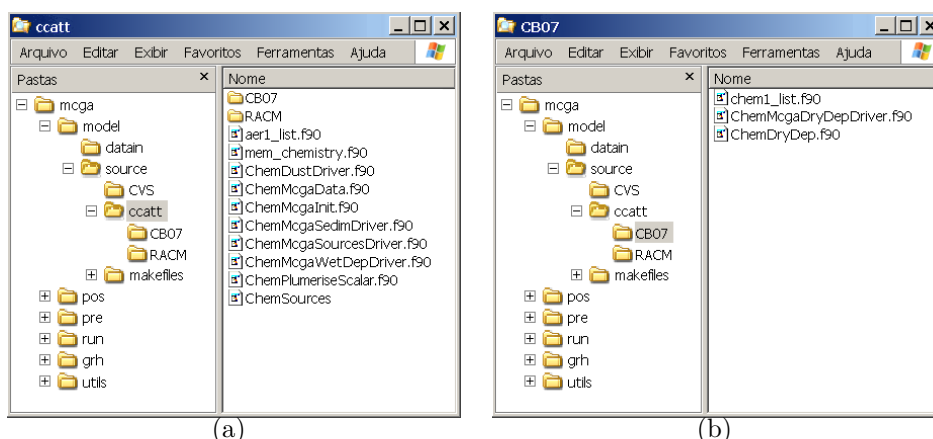


Figura 3.13 - Subdiretório *model/sources/ccatt*. a) Os algoritmos de emissão, deposição gravitacional e deposição úmida. b) Os algoritmos de deposição seca.

Em uma visão macroscópica, os algoritmos do *MCGA* funcionam com 3 seqüências de execução: inicialização, resolução e finalização. A inicialização das variáveis (Figura 3.14) define e aloca memória para as variáveis utilizadas dentro das rotinas, e atribui os valores das variáveis, inclusive com a leitura dos arquivos de entrada. A resolução (Figura 3.15) envolve a evolução dos procedimentos dentro dos passos de tempo (*timestep*). Em cada *timestep* as equações da dinâmica e os processos físicos são resolvidos. Em alguns *timesteps* específicos, as variáveis são editadas para os arquivos de saída. A finalização (Figura 3.16) ocorre após o término da integração dos *timesteps*. Nesta etapa a memória utilizada pelas variáveis são desalocadas.

No *MCGA*, os diversos processos físicos dentro da atmosfera e da superfície são agrupados por temas e resolvidos dentro de módulos específicos, como por exemplo os processos de superfície são resolvido no módulo *SSiB*, a precipitação dentro do módulo *Convection*, etc.

Cada módulo procura englobar as rotinas de inicialização, resolução e finalização. A idéia básica é agrupar os temas dentro dos módulos, e assim facilitar o desenvolvimento do modelo, tanto sob o ponto de vista científico quanto da programação. A estrutura do CCATT segue estes mesmos princípios.

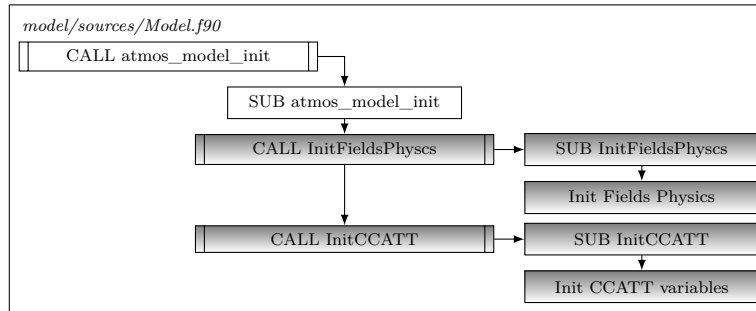


Figura 3.14 - Etapa de execução *CCATT/MCGA*: Inicialização. A primeira atitude do modelo é inicializar as variáveis, incluindo a leitura dos arquivos de entrada. Somente as rotinas que envolvem as variáveis da poeira são mostradas.

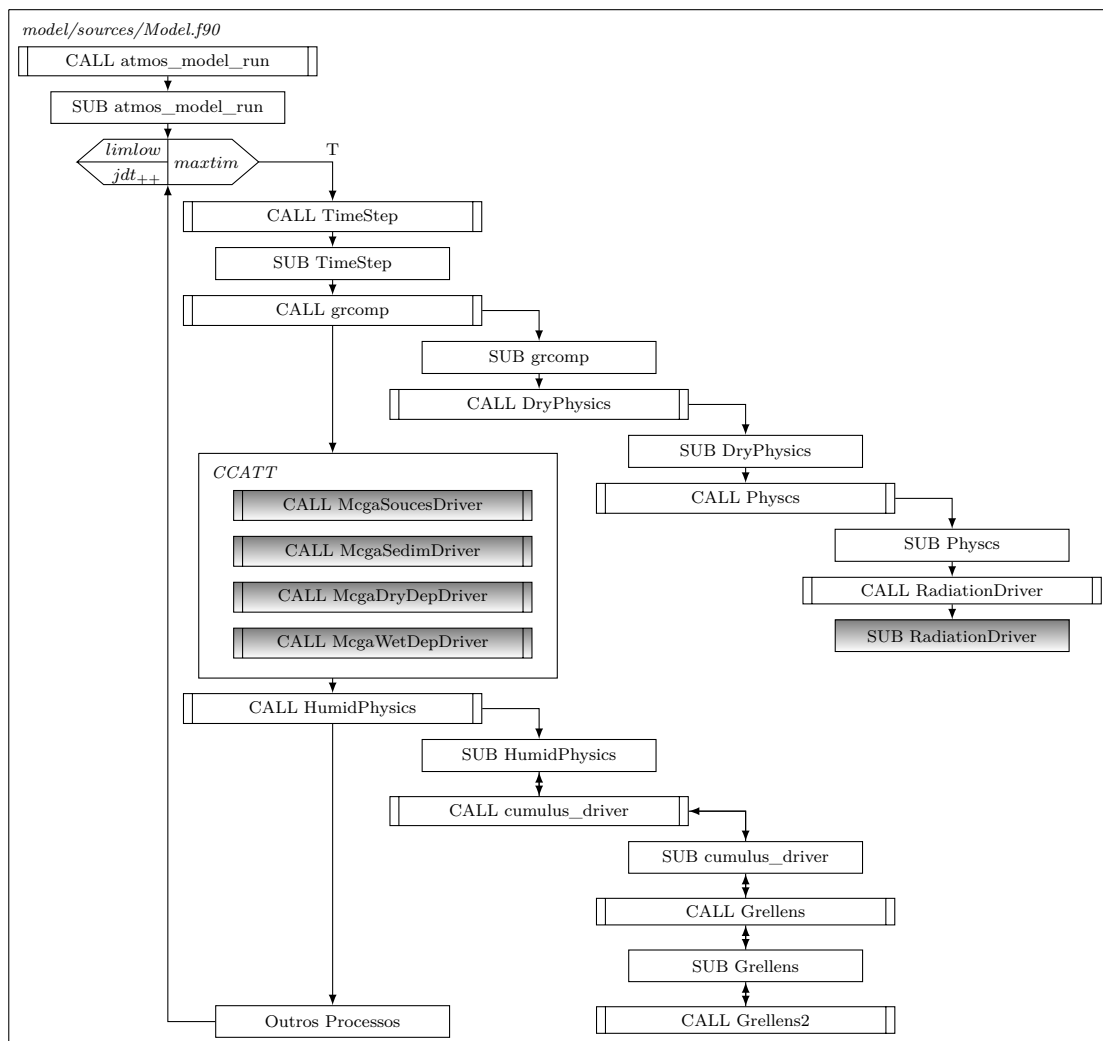


Figura 3.15 - Etapa de execução do *CCATT/MCGA*: Resolução. A integração das equações para cada passo de tempo. Os perfis de poeira interagem com a radiação na rotina *RadiationDriver*. A seguir novos perfis são calculados dentro das rotinas do *CCATT*. Na rotina *Grellens2* são calculados as variáveis utilizadas para a deposição úmida da poeira.

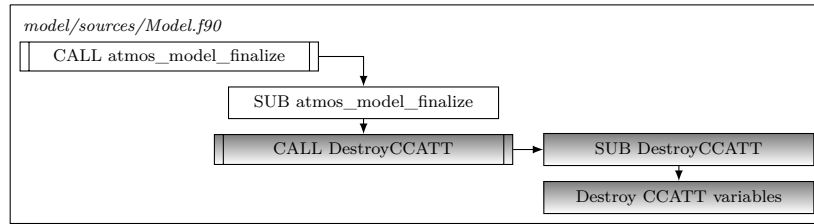


Figura 3.16 - Etapa de execução do *CCATT/MCGA*: Finalização. Nesta etapa, a memória utilizada pelas variáveis é esvaziada.

O *MCGA* é paralelizado. A idéia básica da paralelização é fracionar e distribuir a execução do procedimentos entre vários processadores. Desta forma, cada processador resolve as equações utilizando apenas uma fração dos dados. Neste sentido, as construções das variáveis, sub-rotinas, e metodologias de resoluções das equações que envolvem a poeira levaram em conta estas regras de programação da paralelização. Esta visão geral do *MCGA* é extremamente breve e simplificada, e foi feita para auxiliar a compreensão do acoplamento das rotinas de emissão e deposição de poeira no *CCATT*.

3.3 – Implementação da poeira no *CCATT/MCGA*

As rotinas de emissão e deposição da poeira foram implementadas seguindo os mesmos procedimentos de programação utilizados na implementação do *CCATT* no *MCGA*.

3.3.1 – Rotina de emissão da poeira

O acoplamento entre o *MCGA* e a emissão do *CCATT* é através da rotina *McgaSourcesDriver*. Esta rotina está dentro arquivo *ChemMcgaSourcesDriver.f90*. A Figura 3.17 mostra os principais tópicos abordados por esta interface. A idéia básica da interface é adequar as variáveis provenientes do *MCGA* para uso na rotina de emissão. As variáveis do *MCGA* estão no sistema *MKS* (Metro–Kilograma–Segundo), e as variáveis utilizadas para calcular a emissão da poeira estão no sistema *CGS* (Centímetro–Gramma–Segundo).

Efetivamente a emissão de poeira acontece na subrotina *source_du*. O mecanismo de emissão utilizado é descrito em MARTICORENA et al. (1997) A Figura 3.18 mostra o fluxograma da rotina de emissão. $Nbins$ é o total de classes de partículas, $ncols$ é o total de colunas, o termo $m = ipoint(n)$ direciona as 5 classes de partículas dentro das 3 classes de fração de erosibilidade. ρ_p é a densidade da partícula, g é a gravidade, d_p é o diâmetro da partícula, ω_{soil} é a umidade do solo, $frac_s(n)$ é a fração por classe de partícula (1/10 para clay e 1/4 para silt), $erod(i, m)$ é a fração de erosibilidade, dxy é a área do *gridbox*, $ch_{dust} = 10^{-16}$ é o fator dimensional, $w_{10m}(i)$ é o vento a 10 metros de altura, dt é o *timestep*, $airmass(i, 1)$ é a massa de ar no primeiro nível, e $tc(i, n)$ é a emissão de poeira.

No *CCATT*, os raios das 5 classes das partículas de poeira são: 0,73; 1,4; 2,4; 4,5 e $8\mu m$, e as densidades correspondentes são: 2500; 2650; 2650; 2650 e $2650kg/m^3$.

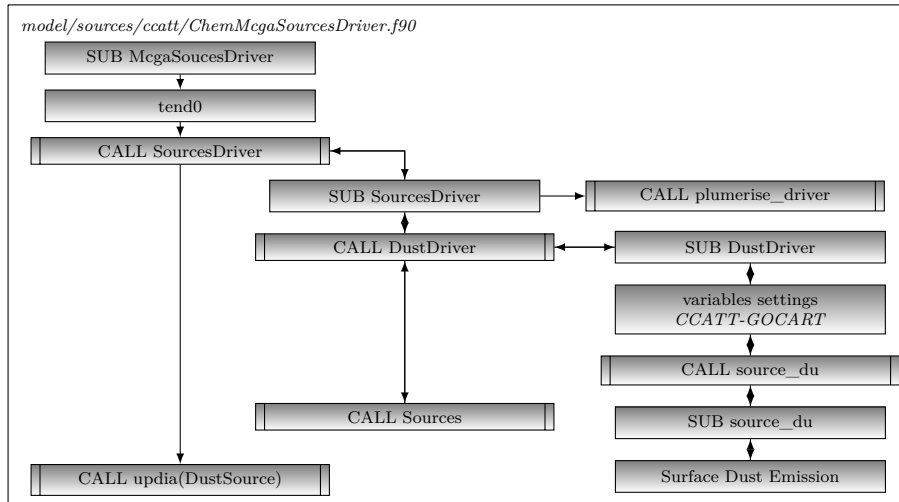


Figura 3.17 - Funcionamento da rotina de emissão.

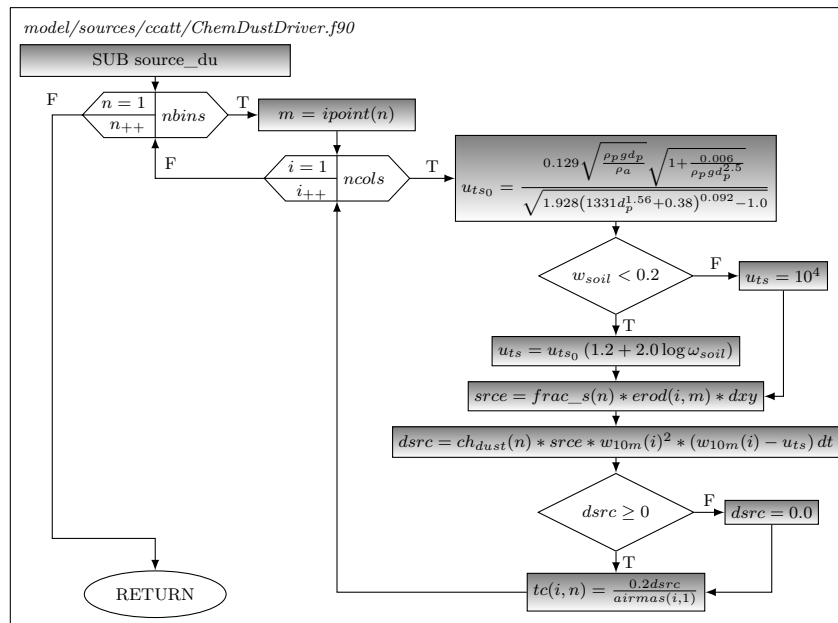


Figura 3.18 - Fluxograma da rotina de emissão: retirado do *GOCART/WRF*. A emissão é baseado no cisalhamento do vento a 10m.

3.3.2 – Rotina da sedimentação gravitacional da poeira

O processo de sedimentação gravitacional (Figura 3.19), está representado na rotina *McgaSedim-Driver*. A sedimentação gravitacional utilizada no *CCATT/MCGA* é o mesmo utilizado no *GOCART/WRF*. O processo é descrito em GINOUX et al. (2001).

A sedimentação gravitacional ocorre efetivamente na rotina *VSettling*, localizado dentro do arquivo *ChemMcgaSedimDriver.f90*. A Figura 3.20 mostra o fluxograma da deposição gravitacional da poeira. Onde $kMax$ é o total de camadas, dz é a espessura das camadas, v_{stg} é a velocidade de sedimentação, r_{eff} é o raio efetivo, $dyn_visc = 1,5 * 10^{-5} \text{ kg/m/s}$ é a viscosidade dinâmica,

$ndt_{stg}(n)$ é o número de iterações para satisfazer a condição de CFL no cálculo da sedimentação para cada classe de partícula, tmp é a temperatura absoluta (kelvin), p_{mid} é a pressão no meio da camada, c_{stk} é o parâmetro de Stokes, c_{cun} é o parâmetro de Cunningham (fator de correção de deslizamento), vd_{cor} é a velocidade de sedimentação corrigida, e $bstl(i, n)$ é o total sedimentado para a camada inferior.

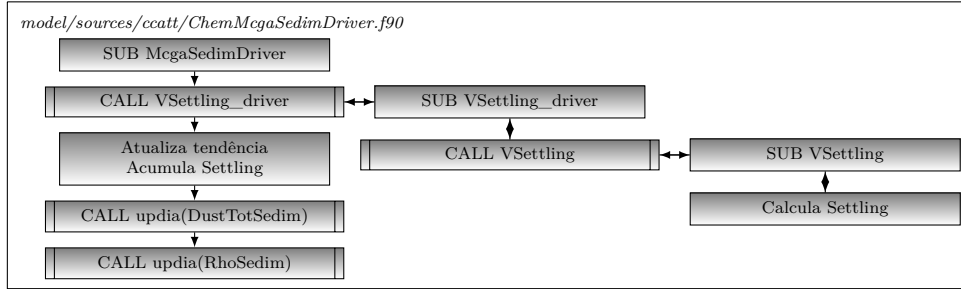


Figura 3.19 - Funcionamento da rotina de sedimentação gravitacional.

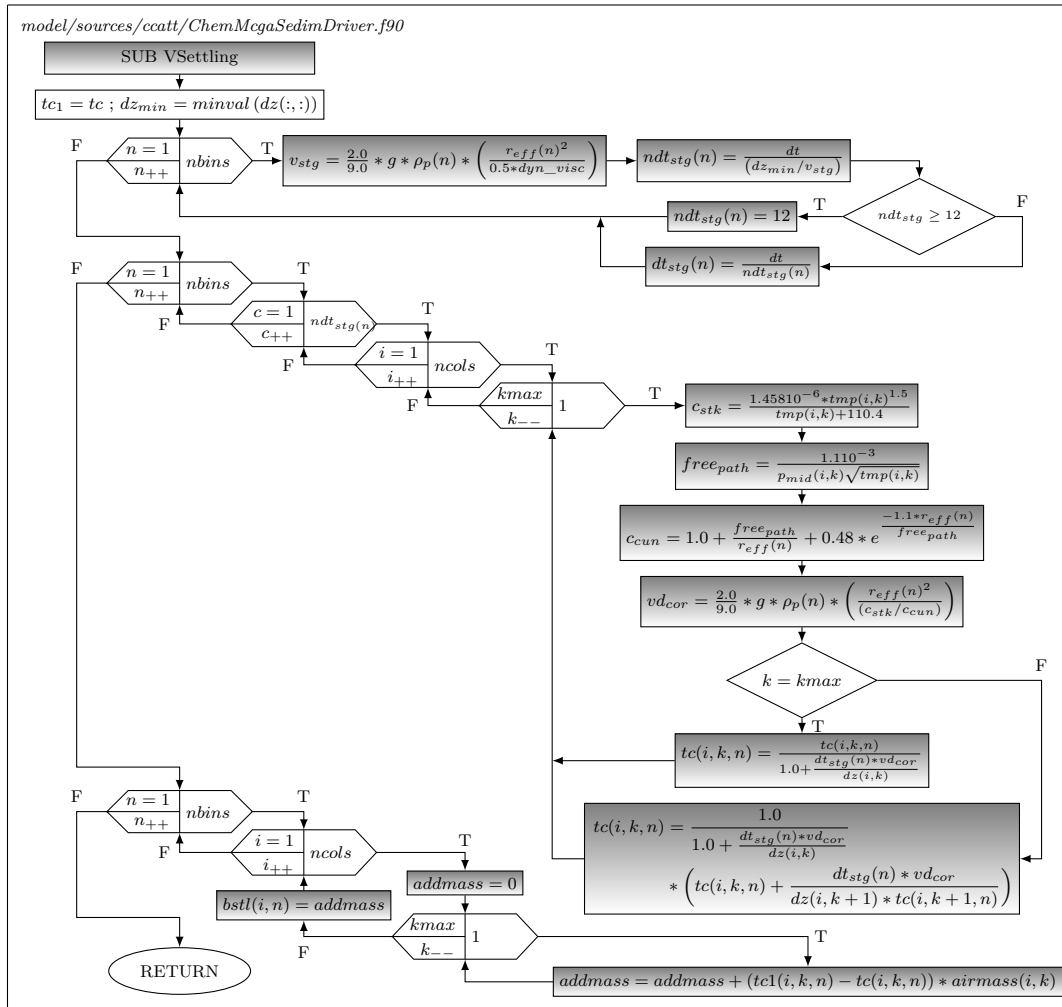


Figura 3.20 - Fluxograma sedimentação gravitacional. retirado do *GOCART/WRF*. A sedimentação gravitacional ocorre devido a ação da gravidade em todo perfil atmosférico.

3.3.3 – Rotina da deposição seca da poeira

O processo de deposição seca (Figura 3.21), está localizado na rotina *McgaDryDepDriver*. A rotina de deposição seca é proveniente do *CCATT/MCGA*. O processo é descrito em *WESELY (1989)* e *ERISMAN et al. (1994)*. A deposição seca ocorre nas rotinas *dry_dep_particles* e *apply_dry_dep*. Estas rotinas estão localizadas no arquivo *ChemDryDep.f90*. A Figura 3.22 mostra o cálculo da deposição seca na superfície. A subrotina *sedim_particles_3d* calcula os parâmetros de sedimentação, enquanto que a subrotina *lsl_particles* calcula os parâmetros de sedimentação seca pela resistência das subcamadas laminares.

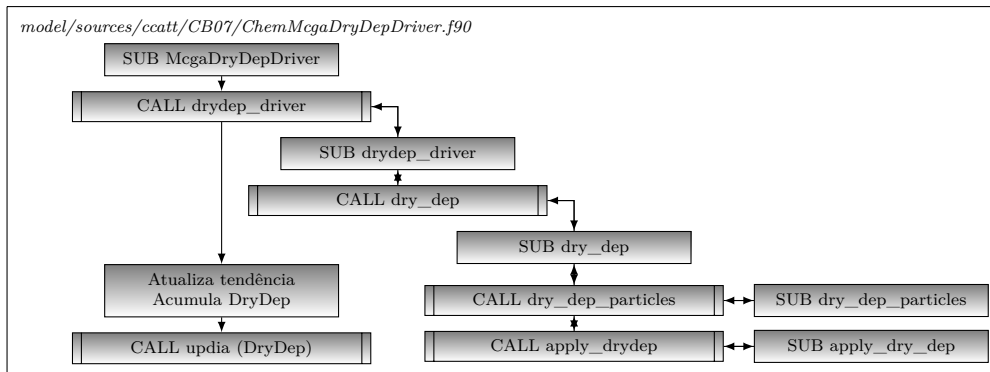


Figura 3.21 - funcionamento da rotina de deposição seca.

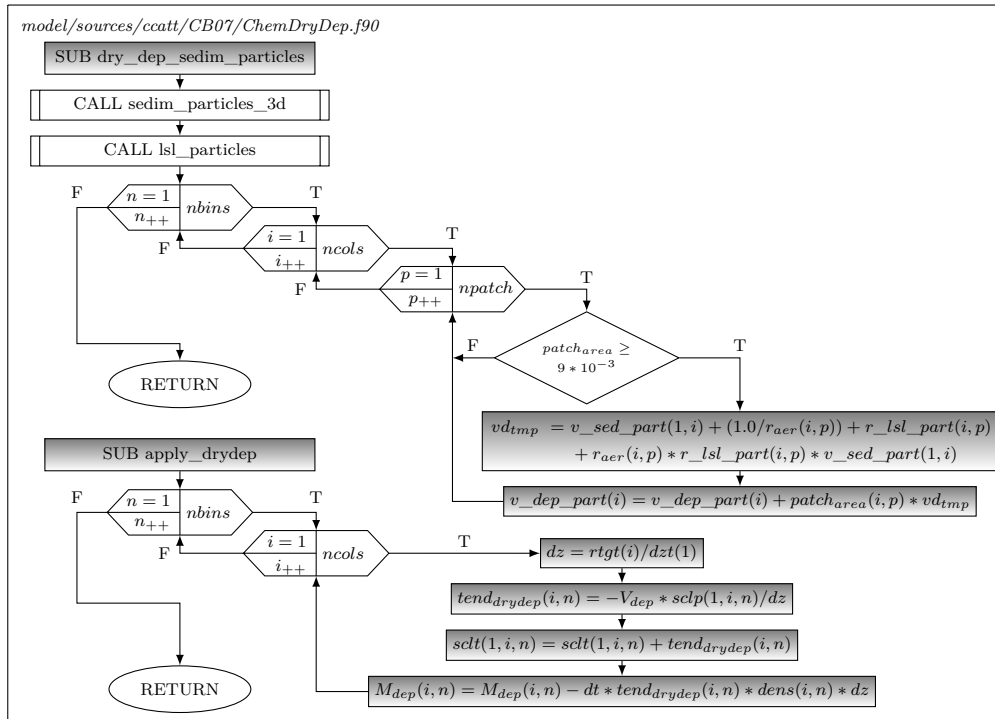


Figura 3.22 - Fluxograma deposição seca:

Na subrotina *dry_dep_particles*, a variável v_{dep_part} é a velocidade de deposição das partículas (m/s), r_{lsl_part} é a resistência da camada sub-laminar, e r_{aer} é a resistência aerodinâmica. Na subrotina *apply_dry_dep*, a variável dz é a espessura da primeira camada, $tend_{drydep}$ é a tendência da deposição seca, $sclt$ é a tendência acumulada, e M_{dep} é o total depositado na superfície.

3.3.4 – Rotina de deposição úmida da poeira

O processo da deposição úmida é calculado na rotina *McgaWetDepDriver* (Figura 3.23). A rotina de deposição úmida utiliza o fluxo de massa total na base da nuvem *xmb* e a fração de condensado precipitante em cada camada da nuvem *pw* para coletar as partículas de poeira presente dentro da nuvem. Estas variáveis são calculadas pela convecção Grell dentro da rotina *Grellens2*.

A deposição úmida ocorre na rotina *McgaWetDepDriver*, dentro do arquivo *ChemMcgaWetDep.f90*. A Figura 3.24 mostra o cálculo da deposição úmida. Nesta subrotina, k_{bot} e k_{top} são respectivamente o nível da base e do topo da nuvem, $extract(i, k, n)$ é a deposição úmida de partículas de poeira em cada nível para cada classe de partículas, o $scav_{effv} = 1$ é o fator de eficiência do processo de deposição úmida, tot_{wetdep} é o total sedimentado para a superfície. Nesta subrotina a tendência resultante dos processos de emissão, deposição seca e úmida é atualizada no perfil de poeira *f_{gpass}*.

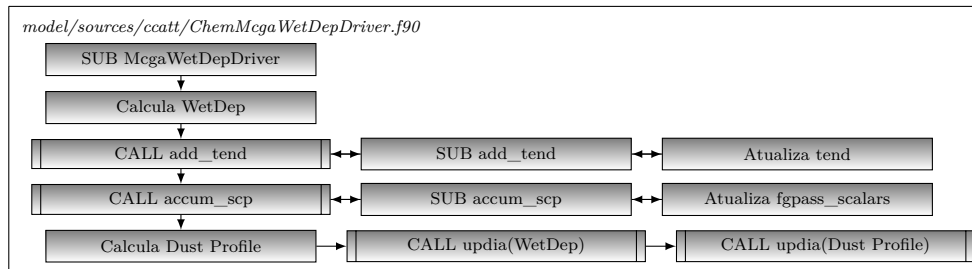


Figura 3.23 - funcionamento da rotina de deposição úmida.

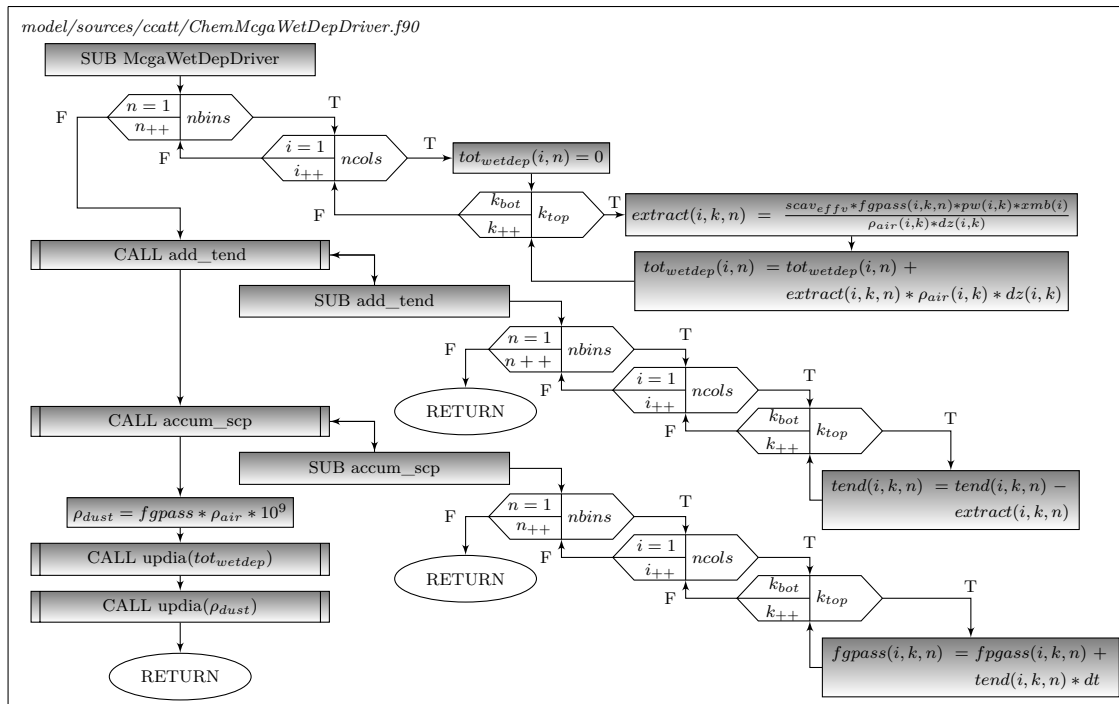


Figura 3.24 - Fluxograma deposição úmida: As unidades: $tot_{wetdep} = kg(dust)/m^2/s$; $tend = kg(dust)/kg(air)/s$; $fgpass = kg(dust)/kg(air)$; $RhoDust = \mu g(dust)/m^3$

3.4 – Acoplamento da poeira com a radiação

O código de radiação do *UKMO/MCGA* implementado no *MCGA/CPTEC* efetua os cálculos da interação da radiação com os gases e os particulados. O *UKMO/MCGA* utiliza dois arquivos de configuração “*espectrais*” para definir os limites das bandas de comprimentos de onda de cada faixa (solar e terrestre) e os valores dos parâmetros e propriedades radiativas dos gases e aerossóis dentro dessas bandas de comprimento de onda. Em especial, nestes arquivos estão incluídos também os parâmetros das partículas de poeira.

O código de radiação utiliza perfis climatológicos da concentração de poeira (camada limite sobre continente=6.70018e-5; camada limite sobre oceano=0.0; troposfera=8.37523e-6; estratosfera=0.0) para os cálculos da radiação. A estratégia utilizada neste trabalho foi nulificar estes perfis climatológicos e inserir os perfis estimados pelo *CCATT/MCGA* como uma variável adicional. Os valores dos parâmetros da poeira climatológica foram redistribuídos para as cinco classes de partículas de poeira nesta variável adicionada.

O arquivo espectral para a radiação solar (*sp_sw_hadgem1_3r*) descreve 6 intervalos de comprimento de onda, e o arquivo espectral para a radiação terrestre (*sp_lw_hadgem1_3*) descreve 9 intervalos de comprimento de onda. A Tabela 3.2 descreve os limites das faixas espectrais inferior (λ_i em μm) e superior (λ_f em μm) e os valores de absorção (*absorção* em (m^2/kg)), espalhamento (*espalhamento* em (m^2/kg)) e função de fase (*fase*, adimensional) para as partículas de poeira na faixa espectral de ondas curtas. A Tabela 3.2 descreve para as ondas longas.

Os perfis de poeira foram acoplados no código do *UKMO/MCGA*. Foram adicionadas 5 variáveis novas denominados: “*Dust Division 1*”, “*Dust Division 2*”, “*Dust Division 3*”, “*Dust Division 4*”, e “*Dust Division 5*”. Cada uma destas variáveis representam as classes de partículas de poeira do *CCATT/MCGA/CPTEC*, com os raios: 0,73; 1,4; 2,4; 4,5 e $8\mu m$. Os valores dos parâmetros de absorção, espalhamento e função de fase são os mesmos da variável “*dust-like*” presente nos arquivos de configuração. As modificações são mostrados na Tabela 3.4 para a faixa de comprimento de ondas curtas. A Tabela 3.5, mostram as configurações para a onda longa.

Dentro das rotinas *ukmo_swintf* e *ukmo_lwintf*, localizadas no arquivo *Rad_UKMO.f90*, os valores dos perfis de poeira armazenados na variável *fypass_scalars* são transferidos para a variável *aerosol_mix_ratio*.

Tabela 3.2 - Parâmetros radiativos da variável *dust-like*: radiação solar. Absorção e espalhamento em m^2/kg .

Short Wave - dust-like						
n	1	2	3	4	5	6
$\lambda_i-\lambda_f$ (μm)	0,2-0,32	0,32-0,69	0,32-0,69	0,69-1,19	1,19-2,38	2,38-10
absorção	146,899	121,234	121,234	97,745	70,151	50,800
espalhamento	267,347	308,909	308,909	355,757	393,756	273,988
fase	0,882	0,833	0,833	0,788	0,807	0,890

Tabela 3.3 - Parâmetros radiativos da variável *dust-like*: radiação terrestre. Absorção e espalhamento em m^2/kg .

Long Wave - dust-like									
n	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$\lambda_i-\lambda_f$ (μm)	3,3-6,6	6,6-7,5	7,5-8,3	8,9-10,1	8,3-12,5	13,3-16,9	12,5-18,1	18,1-25	25-10 ^d
absorção	58,149	75,738	75,738	155,524	124,032	81,292	82,115	107,177	108,133
espalhamento	142,641	122,455	122,455	217,061	190,679	141,955	140,532	110,263	57,485
fase	0,875	0,815	0,815	0,672	0,689	0,669	0,670	0,585	0,424

Tabela 3.4 - Parâmetros radiativos da variável *dust division[1-5]*: radiação solar. Absorção e espalhamento em m^2/kg .

n	1	2	3	4	5	6
$\lambda_i-\lambda_f$ (μm)	0,2-0,32	0,2-0,69	0,32-0,69	0,69-1,19	1,19-2,38	2,38-10
Short Wave - Dust Division 1 (0.73 μm)						
absorção	146,899	121,234	121,234	97,745	70,151	50,800
espalhamento	267,347	308,909	308,909	355,757	393,756	273,988
fase	0,882	0,833	0,833	0,788	0,807	0,890
Short Wave - Dust Division 2 (1.40 μm)						
absorção	146,899	121,234	121,234	97,745	70,151	50,800
espalhamento	267,347	308,909	308,909	355,757	393,756	273,988
função	0,882	0,833	0,833	0,788	0,807	0,890
Short Wave - Dust Division 3 (2.40 μm)						
absorção	146,899	121,234	121,234	97,745	70,151	50,800
espalhamento	267,347	308,909	308,909	355,757	393,756	273,988
fase	0,882	0,833	0,833	0,788	0,807	0,890
Short Wave - Dust Division 4 (4.50 μm)						
absorção	146,899	121,234	121,234	97,745	70,151	50,800
espalhamento	267,347	308,909	308,909	355,757	393,756	273,988
fase	0,882	0,833	0,833	0,788	0,807	0,890
Short Wave - Dust Division 5 (8.00 μm)						
absorção	146,899	121,234	121,234	97,745	70,151	50,800
espalhamento	267,347	308,909	308,909	355,757	393,756	273,988
fase	0,882	0,833	0,833	0,788	0,807	0,890

Tabela 3.5 - Parâmetros radiativos da variável *dust division[1-5]*: radiação terrestre. Absorção e espalhamento em m^2/kg .

n	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$\lambda_i-\lambda_f$ (μm)	3,3-6,6	6,6-7,5	7,5-8,3	8,9-10,1	8,3-12,5	13,3-16,9	12,5-18,1	18,1-25	25-10 ^d
Long Wave - Dust Division 1 (0.73 μm)									
absorção	58,149	75,738	75,738	155,524	124,032	81,292	82,115	107,177	108,133
espalhamento	142,641	122,455	122,455	217,061	190,679	141,955	140,532	110,263	57,485
fase	0,875	0,815	0,815	0,672	0,689	0,669	0,670	0,585	0,424
Long Wave - Dust Division 2 (1.40 μm)									
absorção	58,149	75,738	75,738	155,524	124,032	81,292	82,115	107,177	108,133
espalhamento	142,641	122,455	122,455	217,061	190,679	141,955	140,532	110,263	57,485
fase	0,875	0,815	0,815	0,672	0,689	0,669	0,670	0,585	0,424
Long Wave - Dust Division 3 (2.40 μm)									
absorção	58,149	75,738	75,738	155,524	124,032	81,292	82,115	107,177	108,133
espalhamento	142,641	122,455	122,455	217,061	190,679	141,955	140,532	110,263	57,485
fase	0,875	0,815	0,815	0,672	0,689	0,669	0,670	0,585	0,424
Long Wave - Dust Division 4 (4.50 μm)									
absorção	58,149	75,738	75,738	155,524	124,032	81,292	82,115	107,177	108,133
espalhamento	142,641	122,455	122,455	217,061	190,679	141,955	140,532	110,263	57,485
fase	0,875	0,815	0,815	0,672	0,689	0,669	0,670	0,585	0,424
Long Wave - Dust Division 5 (8.00 μm)									
absorção	58,149	75,738	75,738	155,524	124,032	81,292	82,115	107,177	108,133
espalhamento	142,641	122,455	122,455	217,061	190,679	141,955	140,532	110,263	57,485
fase	0,875	0,815	0,815	0,672	0,689	0,669	0,670	0,585	0,424

3.5 pos – Pós processamento

O pós-processamento edita os resultados nos formatos pré-definidos. O subdiretório *pos* contém dois subdiretórios: *pos/datain* e também o *pos/source*. As variáveis escolhidas de poeira são definidas no arquivo *pos/datain/rfd.clm* (Figura 3.25-a). Os algoritmos do pós processamento estão localizados no subdiretório *pos/source* (Figura 3.25-b).

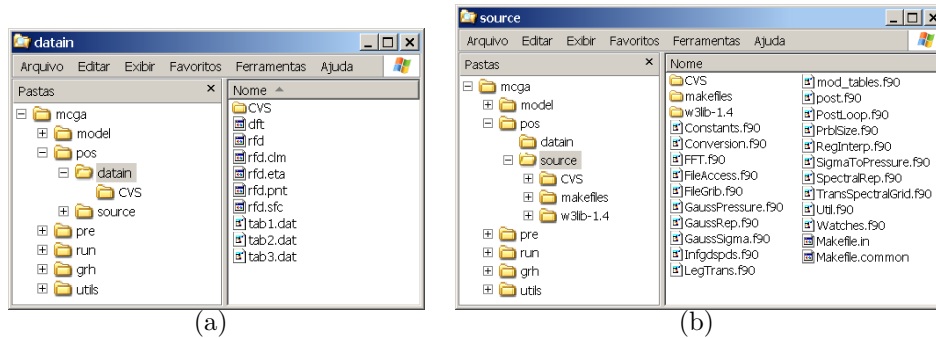


Figura 3.25 - Subdiretório *pos*. O arquivo auxiliar *rfd.clm* descreve as variáveis que serão extraídos dos arquivos prognósticos, inclusive as variáveis da poeira. Os algoritmos do pós processamentos convertem as variáveis espectrais para variáveis em ponto de grade e ficam armazenados no subdiretório *pos/source*.

3.6 run – Submissão da execução do processamento

As submissões de execução do pré-processamento, processamento, e pós-processamento são realizadas pelos seguintes *scripts*: *runPre*, *runModel*, e *runPos*. Estes *scripts* estão alocados no subdiretório *run* (Figura 3.26). O *script runPre* gerencia as execuções dos *scripts* do pré-processamento (seção 3.1.3). O pré-processamento executa com apenas 1 processador. O *script runModel* submete a execução do processamento em modo serial (mono processador) ou paralelo (multi processadores). As configurações ambientais para a submissão do processamento estão no arquivo *run/EnvironmentalVariablesMCGA*. Dentre estas configurações ambientais, merece destaque a seleção do processamento (serial ou paralelo) e o *WALLTIME*. O *script runPos* submete a execução do pós-processamento. O pós-processamento executa com apenas 1 processador.

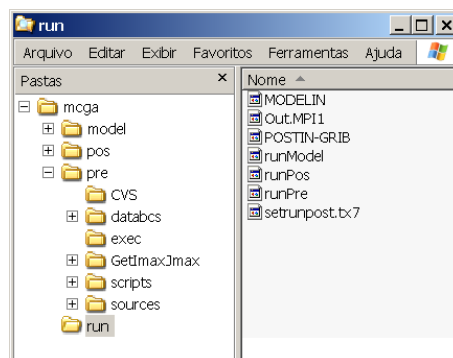


Figura 3.26 - Subdiretório *run*.

O arquivo *run/MODELIN* contém as configurações (“*namelist*”) dos parâmetros dos processos físicos, dinâmicos, e computacionais do modelo *MCGA*, inclusive do *CCATT*. Alguns parâmetros do *MODELIN* são apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Configurações do *MODELIN* para as simulações

nome variável	<i>Exp0</i>	<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	descrição
trunc	126	126	126	126	truncamento triangular
vert	18	18	18	18	níveis verticais sigma
dt	300	300	300	300	delta t (<i>timestep</i>)
nscalars	0	12	12	12	número de variáveis semi-lagrangiano
<i>ISWRAD</i>	<i>UKM</i>	<i>UKM</i>	<i>UKM</i>	<i>UKM</i>	radiação onda curta <i>UKMO</i>
<i>ILWRAD</i>	<i>UKM</i>	<i>UKM</i>	<i>UKM</i>	<i>UKM</i>	radiação onda longa <i>UKMO</i>
<i>ICCON</i>	<i>GRE</i>	<i>GRE</i>	<i>GRE</i>	<i>GRE</i>	convecção cumulus grell
ccatt	<i>FALSE</i>	<i>TRUE</i>	<i>TRUE</i>	<i>TRUE</i>	flag de acionamento <i>CCATT</i>
chem_timestep	300	300	300	300	<i>timestep</i> do <i>CCATT</i>
aerosol	<i>FALSE</i>	<i>TRUE</i>	<i>TRUE</i>	<i>TRUE</i>	flag dos aerossóis no <i>CCATT</i>
drydep	<i>TRUE</i>	<i>TRUE</i>	<i>TRUE</i>	<i>TRUE</i>	flag de acionamento <i>drydep</i>

4 – Resultados e Discussões

Neste trabalho, foram realizados 4 experimentos. O experimento *Exp0* é o controle sem o acoplamento do *CCATT* no *MCGA*. O experimento *Exp1* é o controle com a implementação *offline* do *CCATT*, ou seja, os processos de poeira são realizados nos *CCATT* com as condições meteorológicas e os transportes do *MCGA*, e não possui interações com o código radiativo *UKMO*. Nestes dois experimentos controles, o *UKMO* utiliza os perfis de poeira climatológicos (descritos na seção 3.4). O experimento *Exp2* é a simulação com a implementação *online* do *CCATT*. Neste experimento, a poeira transportada pelo *MCGA* interage com as radiações solares e terrestres no *UKMO*. Essas interações modificam os perfis de aquecimento, promovendo uma realimentação no *MCGA*. O experimento *Exp3* é a simulação com a implementação *online* do *CCATT* com a inclusão da Caatinga como fonte potencial de emissão de poeira. Nos experimentos *Exp2* e *Exp3*, os perfis de poeira calculados no *CCATT* substituem os perfis de poeira climatológicos dentro do *UKMO*. As configurações dos parâmetros destes experimentos estão descritas na Tabela 3.6.

As simulações iniciaram em 0Z de 15 de setembro de 2010 e terminam as 23Z de 13 de outubro de 2010. Foram descartados os oito dias iniciais destas simulações para eliminar os efeitos do “*spin up-down*” dinâmico. Desta forma, o período efetivo começou em 0Z de 23 de setembro de 2010 e terminou em 23Z de 13 de outubro de 2010, em um total de 21 dias. Este período foi escolhido por ser o final da estiagem em grande parte da Caatinga. Todos os experimentos foram configurados com a convecção profunda *Grell* e com a radiação *UKMO*. A convecção profunda *Grell* foi configurada nestes experimentos porque a rotina de deposição úmida de poeira necessita das informações das bases e dos topos das nuvens. Estas informações são calculadas na rotina *Grellens2* (arquivo *Cu_Grellens.f90*, Figura 3.12). A descrição da parametrização *Grell* pode ser encontrada em GRELL; DEVENYI (2002).

4.1 – Simulando a poeira

A partir do experimento *Exp1* a poeira começou a ser estimada dentro do *CCATT*. Dentro do modelo, a poeira de solo somente pode ser emitida nas superfícies potenciais definidas pela fração de erosibilidade. A fração de erosibilidade foi definida na seção 3.1.1. A poeira é transportada na atmosfera através da difusão turbulenta na camada limite planetária, processos convectivos de escala sub-grade e advecção em 3-dimensões pelo vento resolvido. Uma vez difundida na atmosfera, a poeira pode sedimentar de volta a superfície pela ação da gravidade. Na camada limite superficial, a poeira é capturada devido as forças de adesão entre partículas e a superfície. Na atmosfera, as partículas podem ser encapsuladas ou coletadas pelas gotas de água, e desta forma são removidas para a superfície, processo denominado deposição úmida.

Os processos físicos que atuam durante o ciclo da poeira são representadas pelas rotinas de emissão, deposição gravitacional (“*settling*”), deposição seca (“*drydep*”), e deposição úmida (“*wetdep*”). Essas rotinas são processadas em sequência dentro de cada *timestep*. Neste trabalho, o *timestep* foi configurado em 300 segundos. Esta configuração do *timestep* melhorou a estabilidade do *MCGA* quando configurados com o *UKMO* e o *CCATT*. Os valores calculados nas rotinas de poeira são acumulados ao longo do tempo. Estes valores são editados nos arquivos prognósticos a cada 1 hora de integração, ou seja, a partir do horário de início do processamento, a cada 1 hora de processamento, os resultados serão editados nestes arquivos prognósticos. A Tabela 4.1 mostra as

variáveis dentro do processamento e no pós-processamento.

Tabela 4.1 - Variáveis de emissão e deposição da poeira. A nomenclatura das variáveis mudam durante o Processamento e o Pós-processamento.

Processo	Atuação	Valor	Processamento	Pós-processamento	unidade
<i>Emissão</i>	superfície	acumulado	DustSource	dem(1..5)	$kg.m^{-2}.s^{-1}$
<i>Settling</i>	superfície	acumulado	DustTotSedim	dts(1..5)	$kg.m^{-2}.s^{-1}$
<i>Settling</i>	atmosfera	acumulado	RhoSedim	dsg(1..5)	$\mu g.m^{-3}$
<i>DryDep</i>	superfície	acumulado	DustDryDep	ddd(1..5)	$kg.m^{-2}.s^{-1}$
<i>WetDep</i>	superfície	acumulado	TotWetDep	dtw(1..5)	$kg.m^{-2}.s^{-1}$
<i>WetDep</i>	atmosfera	acumulado	WetDep	dwd(1..5)	$\mu g.m^{-3}$
<i>Load</i>	atmosfera	horário	RhoDust	dst(1..5)	$\mu g.m^{-3}$

Após o pós-processamento, as variáveis que contêm valores acumulados são revertidas para os valores horários. Para se obter os valores horários, os valores acumulados são subtraídos dos valores acumulados do horário anterior. Uma vez reconstruída a série temporal dos valores horários, foram calculadas as médias e os totais integrados para as 5 classes de partículas.

As médias são as somatórias dos valores nos pontos de grade ao longo do período efetivo e dividido pelo número de tempos deste período. Os totais integrados são as somatórias dos valores válidos no ponto de grade ao longo do período efetivo. O período efetivo destas análise foi de 0Z de 23 de setembro a 23Z de 13 de outubro de 2010. A média é usada para analisar o padrão espacial das variáveis. O total integrado é utilizado para analisar a abrangência espacial e a quantidade total ao longo do período. As figuras do total integrado são mostrados nos apêndices.

Para facilitar as análises, as 5 classes de partículas foram agrupadas em uma única classe denominada “*all bins*” que permite visualizar o efeito conjunto destas classes. Os campos individuais das 5 classes de partículas também são mostrados para as análises relativas com o total e entre as classes. As análises entre as classes de partículas são feitas através das médias, e as análises entre os experimentos são feitas através das diferenças das médias. Nos gráficos das diferenças, devido a grande amplitude dos valores das diferenças, as variáveis são multiplicadas por um fator de 10^{10} .

As variáveis distribuídas na atmosfera são mostradas em 3 níveis de pressão: 925mb, 500mb e 200mb. As análises verticais são realizadas também através dos perfis zonais e meridionais das médias para as duas localidades selecionadas: Cabo Verde (N 16, 73250, W 22, 93550), e Alta Floresta (S 9, 87134, W 56, 10445).

As análises temporais da poeira são feitas através dos ciclos diurnos sobre Cabo Verde e Alta Floresta. Os ciclos diurnos dos perfis de transporte de poeira destas localidades procuram representar os fluxos de poeira provenientes do Sahara e da Caatinga.

4.1.1 – Simulando a emissão de poeira

As emissões de poeira ocorrem sobre as áreas definidas pela fração de erosibilidade e que satisfazem as condições meteorológicas necessárias, como cisalhamento do vento na superfície e a baixa umidade de solo ($\omega < 0.2$, conforme Equação 2.3). Os valores da fração de erosibilidade são definidos no arquivo “*erod*” (Seção 3.1.1), e o esquema de emissão de poeira é descrito na Seção 3.3.1.

O experimento *Exp1* é a simulação controle. Os experimentos *Exp2* e *Exp3* possuem o acoplamento dos perfis de poeira calculados pelo *CCATT* no código de radiação *UKMO*. O experimento *Exp3* possui também o adicional da fração de erosibilidade da Caatinga.

Durante a fase do processamento, os valores de emissões são calculados e acumulados ao longo do tempo. Estas informações são editadas nos arquivos prognósticos com resolução temporal de 1 hora. Após o pós-processamento, a emissão horária é calculada através da subtração da emissão acumulada atual com a emissão acumulada do horário anterior. A partir destas emissões horárias, obtém-se as médias temporais e os totais das emissões de poeira para as 5 classes de partículas (mostrados no Apêndice A.1). A seguir, efetua-se a somatória das médias das 5 classes de partículas para obter a classe denominada “*all bins*”.

As Figuras 4.1 (a), (c) e (e) mostram as emissões de poeira *all bins* para os experimentos *Exp1*, *Exp2* e *Exp3*, respectivamente. As Figuras 4.1 (b), (d), e (f) mostram as diferenças entre as emissões *all bins* para estes mesmos experimentos. Os máximos das emissões ocorrem sobre os principais desertos do planeta: norte da África, península arábica, sudoeste asiático, centro-oeste da Austrália, África do Sul, e EUA. Os máximos positivos e negativos das diferenças entre os experimentos *Exp2-Exp1* e *Exp3-Exp1*, principalmente sobre a África e Asia, mostram como a poeira interage com as radiações nestas áreas de emissões intensas.

Os valores das emissões e das diferenças *all bins* são mostrados na Tabela 4.2. Esta tabela mostra estes valores contabilizados dentro das áreas de análises (veja Figura 3.7). É notado uma diminuição das emissões no *Exp2* em relação ao experimento controle, e um leve aumento das emissões no *Exp3*. Isto se deve as variações na velocidade do vento na superfície que ocorreram por causa da realimentação na dinâmica dentro do *MCGA*. No *Exp3*, a Caatinga contribui nas emissões de poeira, contudo suas emissões são 3 ordens de grandeza menor que a do Sahara.

As Figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, e 4.6 mostram as emissões e as diferenças das emissões para as classes de poeira de 1 a 5, entre os três experimentos. Os valores dentro das áreas de análises são mostrados na Tabela 4.2. É notado que os valores das emissões aumentam com o aumento dos raios das partículas, e também com o aumento da densidade das partículas. No *Exp3*, as emissões da Caatinga é 2 a 3 ordens de grandeza menores que os valores globais em cada classe de poeira.

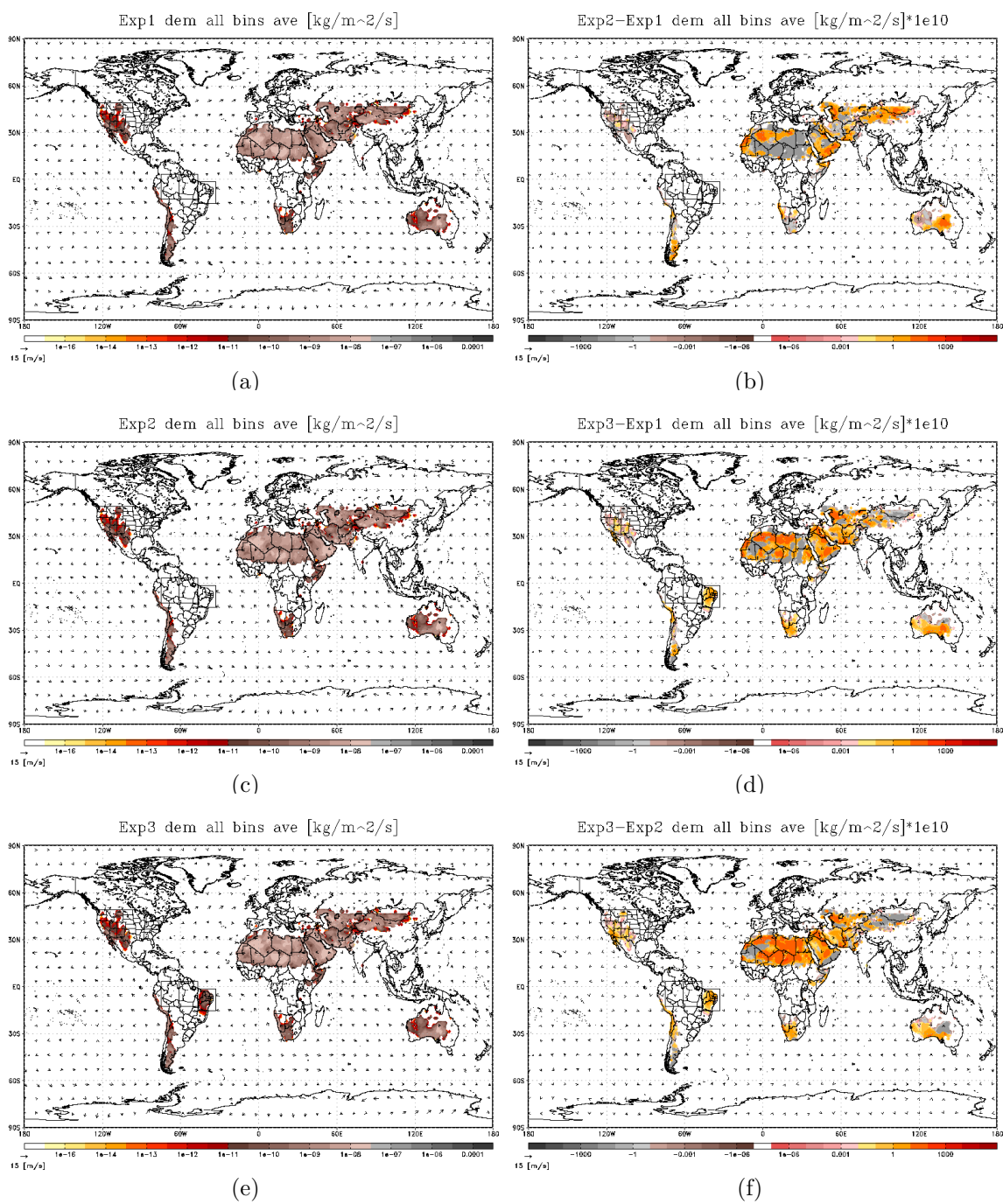


Figura 4.1 - Emissão da poeira: *All bins*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) $Exp2 - Exp1$, (d) $Exp3 - Exp1$, (f) $Exp3 - Exp2$.

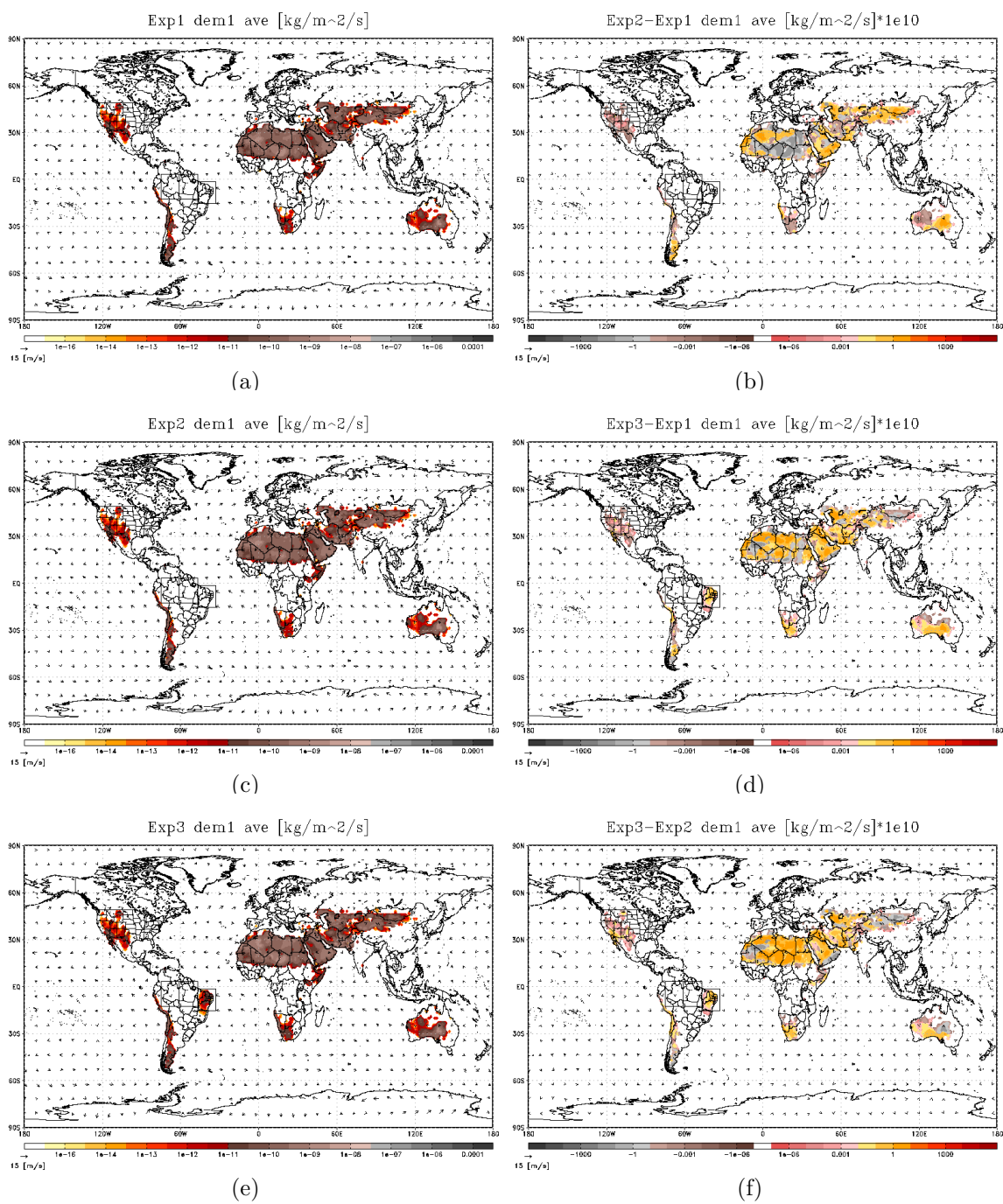


Figura 4.2 - Emissão da poeira: *bin 1*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

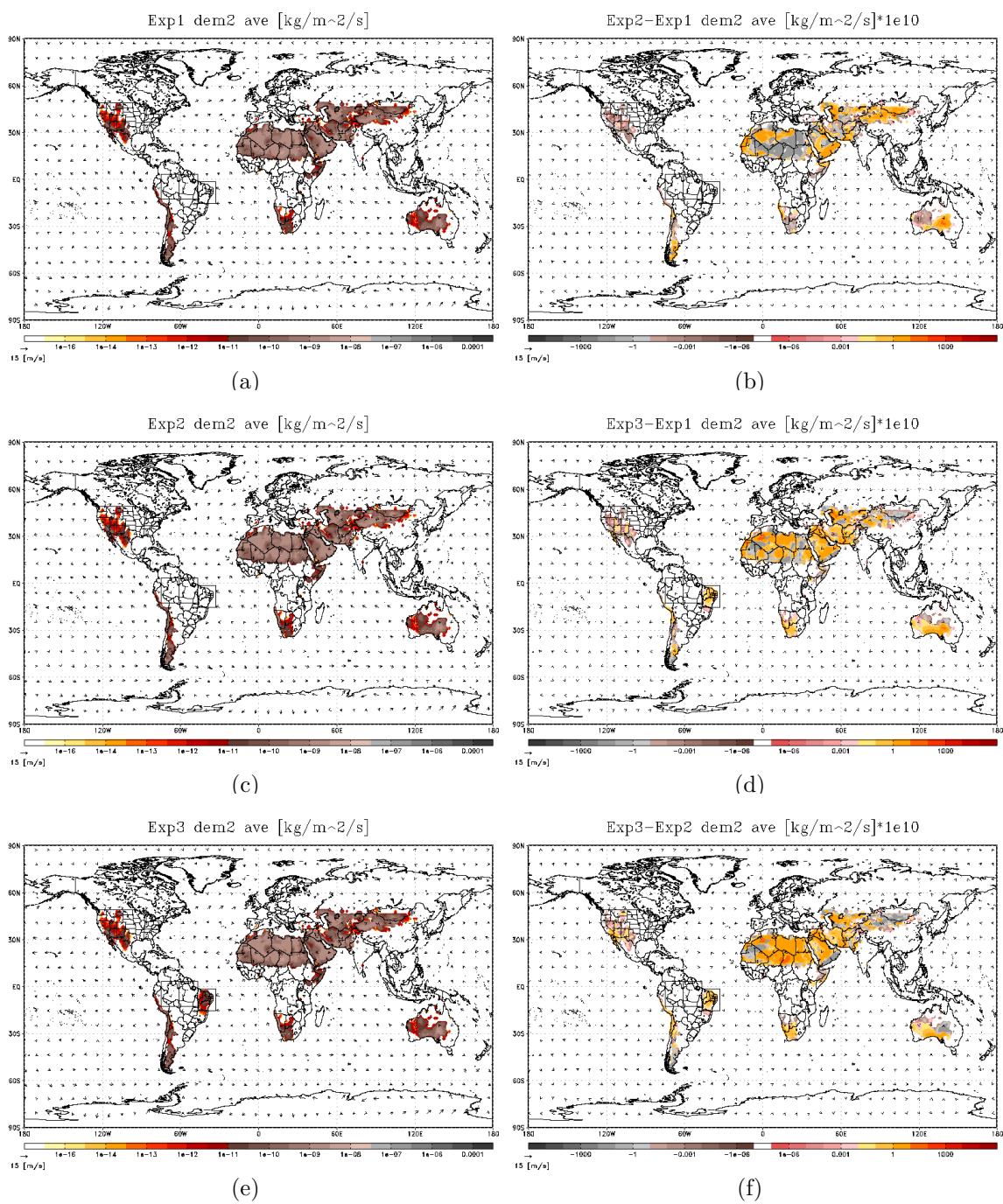


Figura 4.3 - Emissão da poeira: *bin 2*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

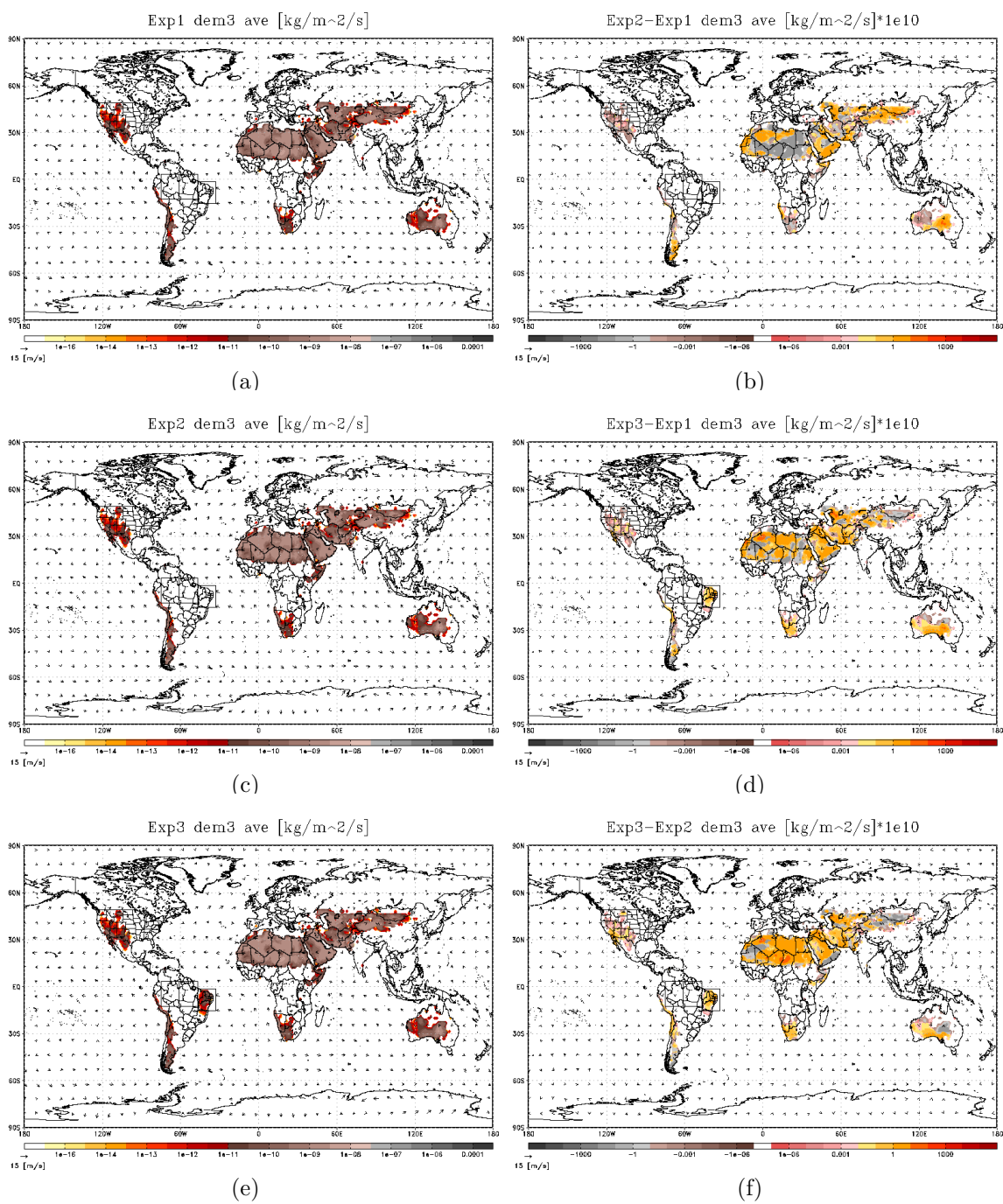


Figura 4.4 - Emissão da poeira: *bin 3*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

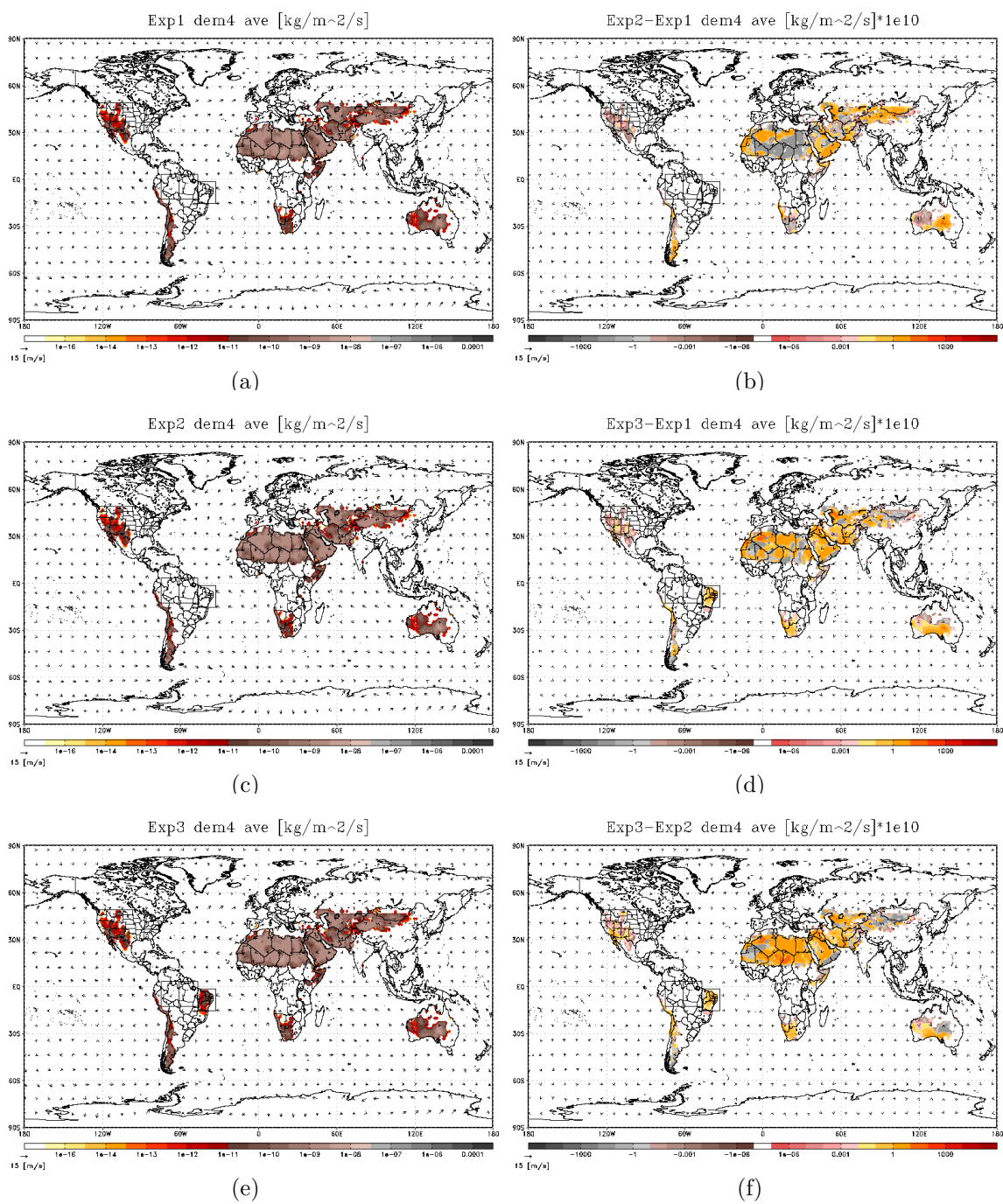


Figura 4.5 - Emissão da poeira: *bin 4*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

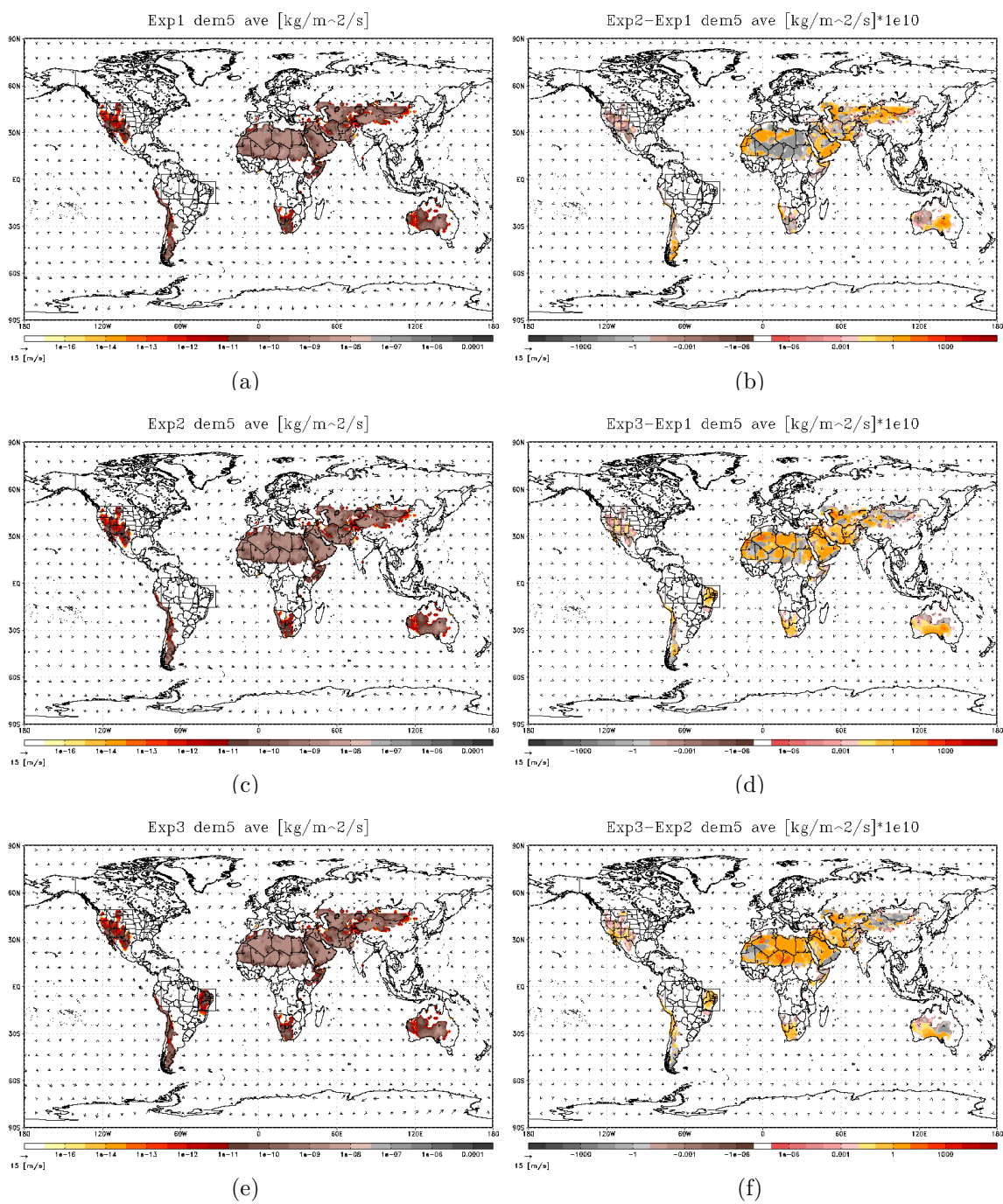


Figura 4.6 - Emissão da poeira: bin 5. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1*, (f) *Exp3* – *Exp2*.

Tabela 4.2 - Emissão de poeira por área e por classe. As análises ocorrem sobre o globo, Caatinga e Amazônia. Os valores correspondem a soma das médias nas áreas de análises em $kg.m^{-2}.s^{-1}$.

<i>Emissão</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp2</i>
<i>dem all</i>	Glb	1.04448E-05	9.98973E-06	1.10398E-05	-4.55067E-07	5.94955E-07	1.05002E-06
	Ctg	0.0	0.0	1.75206E-08	0.0	1.75206E-08	1.75206E-08
	Am1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Am2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>dem 1</i>	Glb	6.27801E-07	5.99376E-07	6.74505E-07	-2.84248E-08	4.67044E-08	7.51292E-08
	Ctg	0.0	0.0	1.15005E-09	0.0	1.15005E-09	1.15005E-09
	Am1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Am2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>dem 2</i>	Glb	2.10247E-06	2.00971E-06	2.23150E-06	-9.27591E-08	1.29030E-07	2.21789E-07
	Ctg	0.0	0.0	3.61009E-09	0.0	3.61009E-09	3.61009E-09
	Am1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Am2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>dem 3</i>	Glb	2.38711E-06	2.28305E-06	2.52262E-06	-1.04057E-07	1.35508E-07	2.39565E-07
	Ctg	0.0	0.0	4.00090E-09	0.0	4.00090E-09	4.00090E-09
	Am1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Am2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>dem 4</i>	Glb	2.60202E-06	2.48951E-06	2.74245E-06	-1.12507E-07	1.40434E-07	2.52941E-07
	Ctg	0.0	0.0	4.29532E-09	0.0	4.29532E-09	4.29532E-09
	Am1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Am2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>dem 5</i>	Glb	2.72540E-06	2.60808E-06	2.86868E-06	-1.17320E-07	1.43277E-07	2.60597E-07
	Ctg	0.0	0.0	4.46423E-09	0.0	4.46423E-09	4.46423E-09
	Am1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Am2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4.1.2 – Simulando a sedimentação gravitacional da poeira

A sedimentação gravitacional “*settling*” extrai a poeira das camadas atmosféricas, a partir do topo da atmosfera em direção a superfície. No *CCATT*, a quantidade de poeira retirada das camadas atmosféricas são armazenadas dentro da variável “*DustTotSedim*”.

A variável *DustTotSedim* acumula entre os *timesteps*. Seguindo os procedimentos descritos na seção 4.1, as sedimentações gravitacionais acumuladas das 5 classes de partículas são convertidas em deposições gravitacionais horárias, e posteriormente são realizados as médias e os totais integrados. Os totais integrados *all bins* e das 5 classes de partículas são mostrados no Apêndice B.1. As médias das 5 classes de partículas são agrupadas na classe *all bins*.

As Figuras 4.7 mostram as médias e as diferenças entre as médias para as três simulações para a classe agrupada *all bins*. As Figuras 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 e 4.8 mostram as médias e as diferenças entre as médias entre as três simulações para as 5 classes de poeiras.

Os máximos das sedimentações gravitacionais da poeira ocorrem sobre as regiões fontes e se estendem seguindo as correntes de vento. Os sistemas de tempo e clima que atuam nas regiões fontes modulam o regime de vento, e desta forma eles modulam também as distribuições espaciais das sedimentações da poeira.

As diferenças entre as médias *Exp2-Exp1* e *Exp3-Exp1* mostram que as sedimentações da poeira provenientes da África em direção a Amazônia ocorrem com mais intensidade no experimento controle, e este padrão se altera com a inclusão da fonte de poeira sobre a Caatinga. Os máximos

positivos e negativos sobre a África e a Ásia seguem o mesmo padrão das diferenças entre as médias das emissões (seção 4.1.1). Nestes casos, a sedimentação aumenta devido ao aumento da oferta de partículas emitidas.

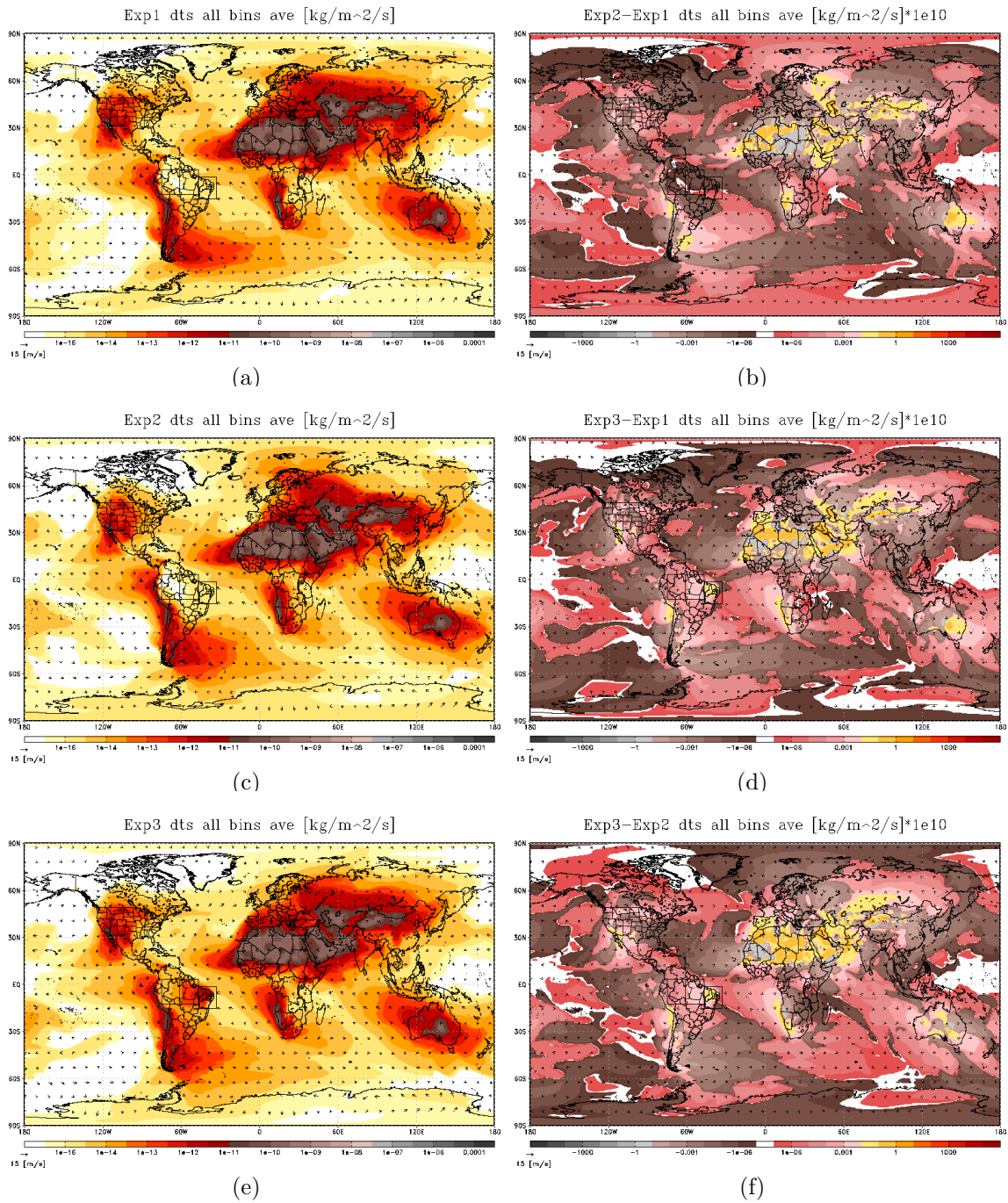


Figura 4.7 - Deposição gravitacional da poeira: *All bins*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

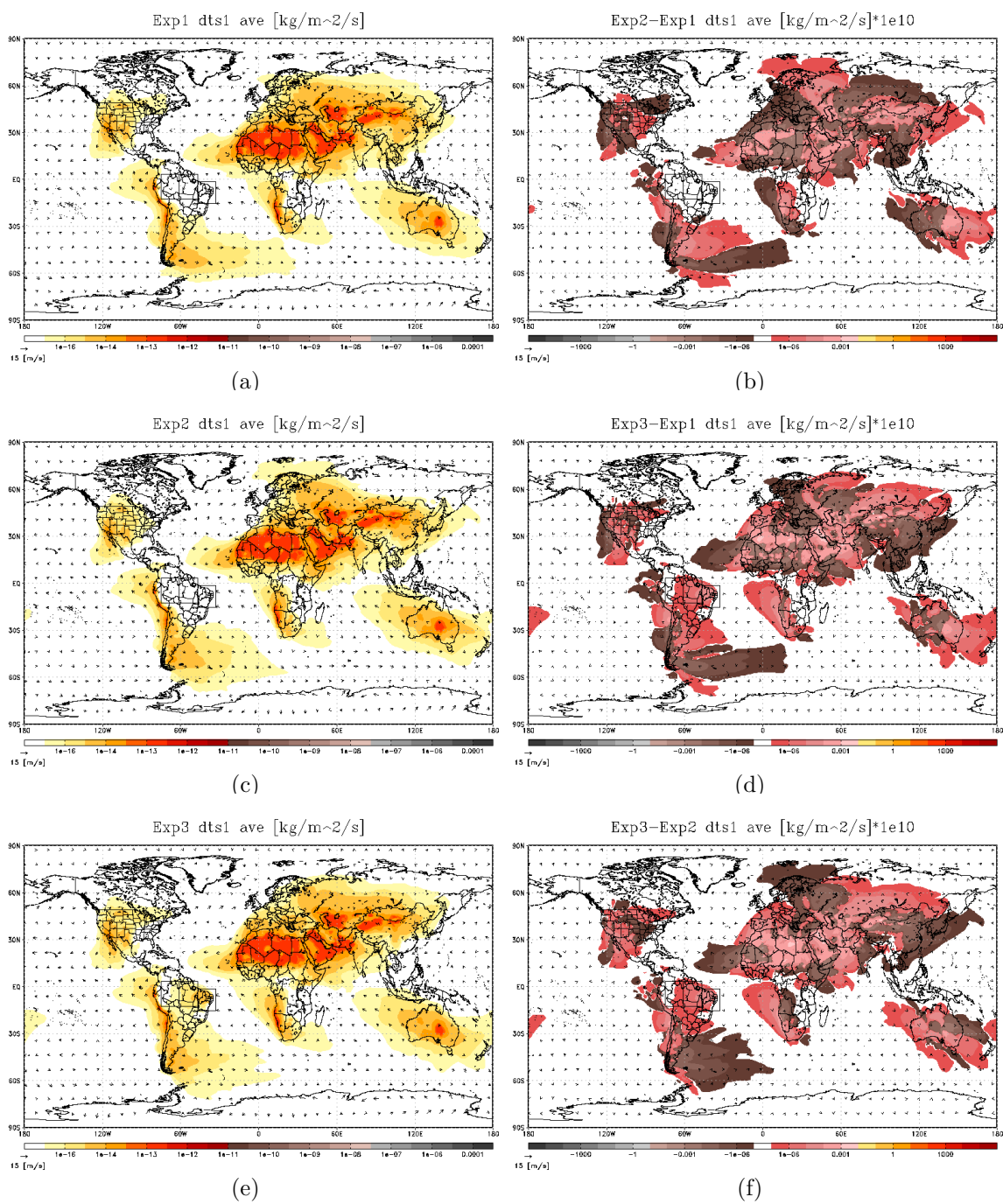


Figura 4.8 - Deposição gravitacional da poeira: *bin 1*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) $Exp2 - Exp1$, (d) $Exp3 - Exp1$, (f) $Exp3 - Exp2$.

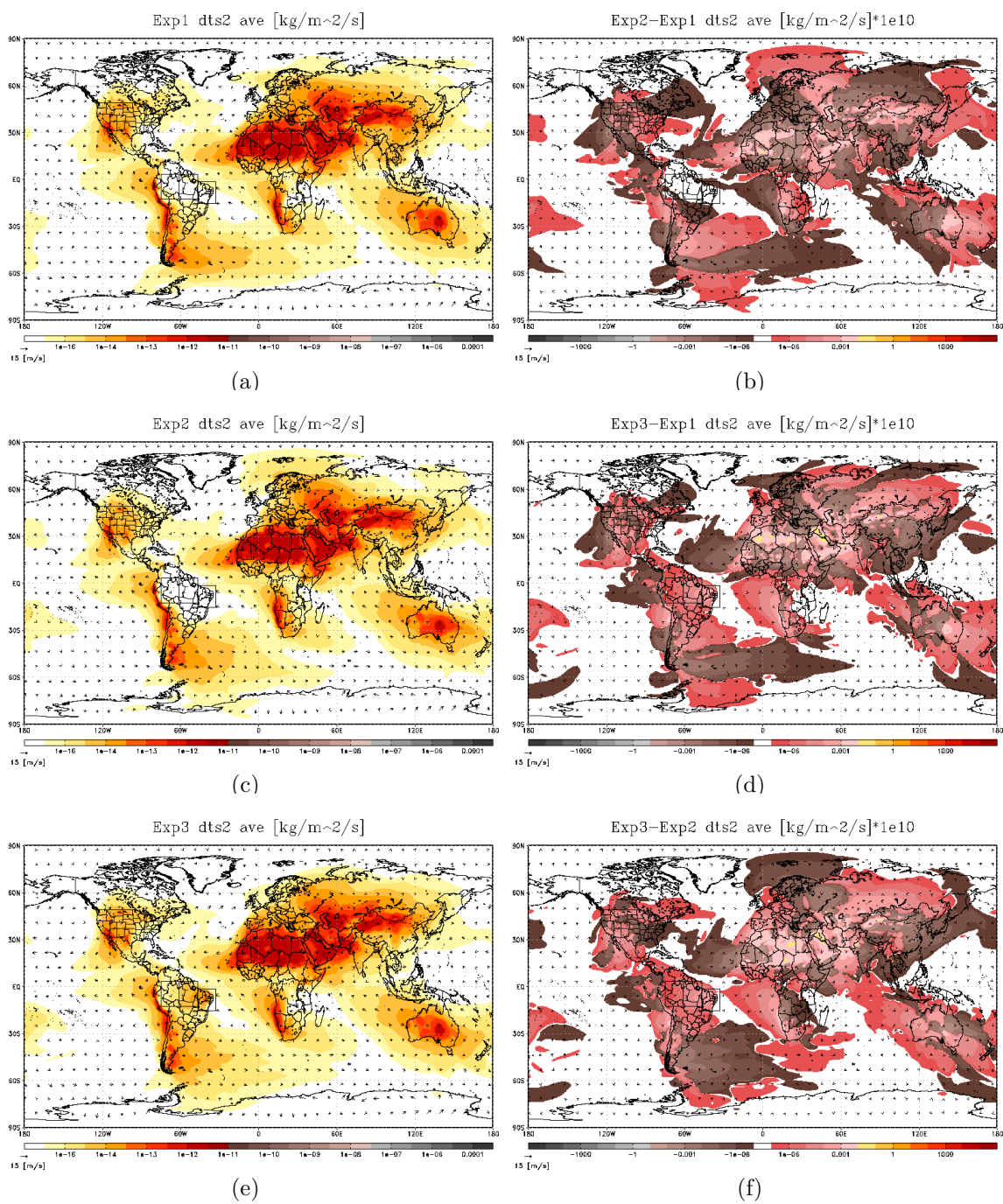


Figura 4.9 - Deposição gravitacional da poeira: *bin 2*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

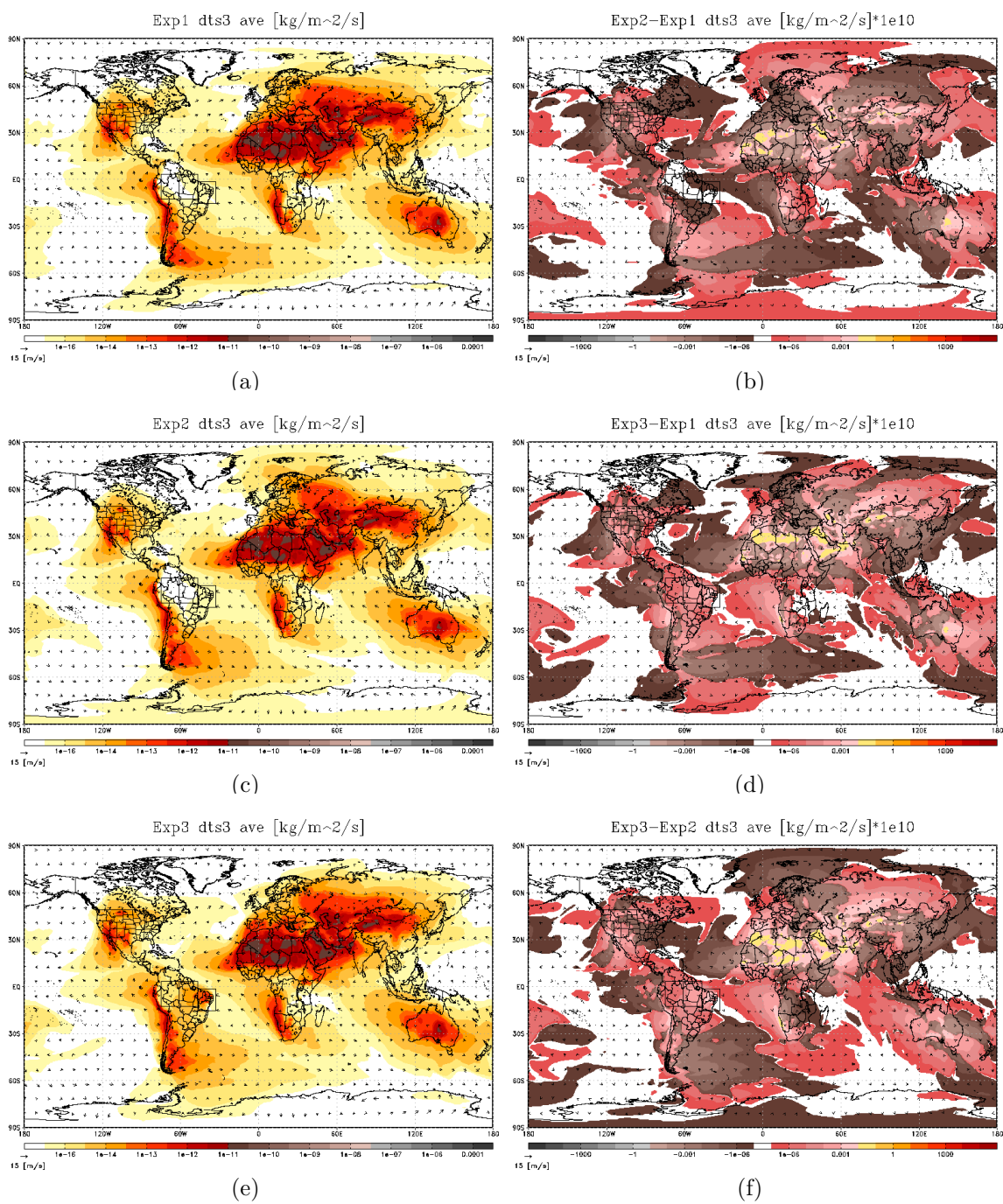


Figura 4.10 - Deposição gravitacional da poeira: *bin 3*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) $Exp2 - Exp1$, (d) $Exp3 - Exp1$, (f) $Exp3 - Exp2$.

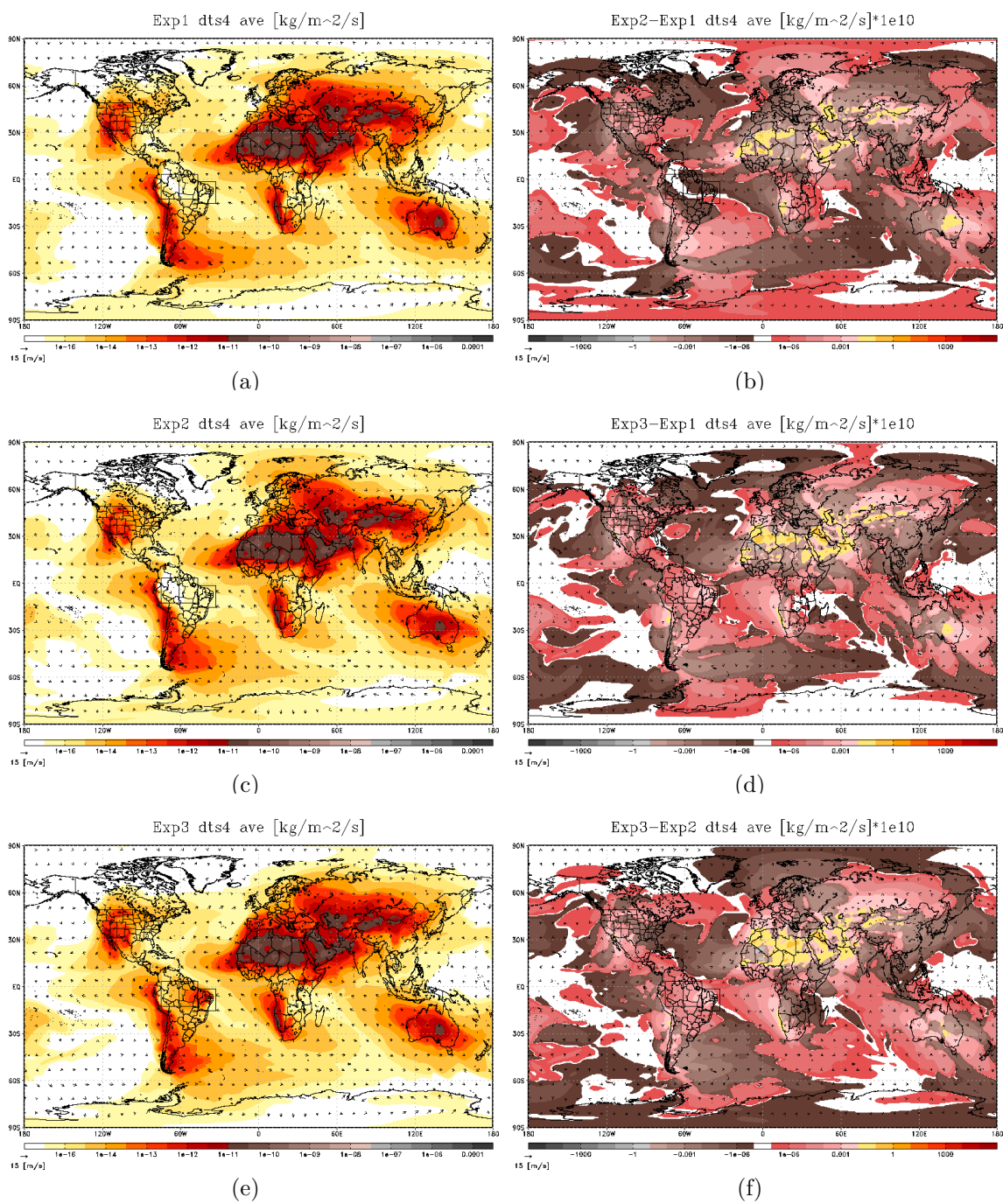


Figura 4.11 - Deposição gravitacional da poeira: bin 4. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* - *Exp1*, (d) *Exp3* - *Exp1*, (f) *Exp3* - *Exp2*.

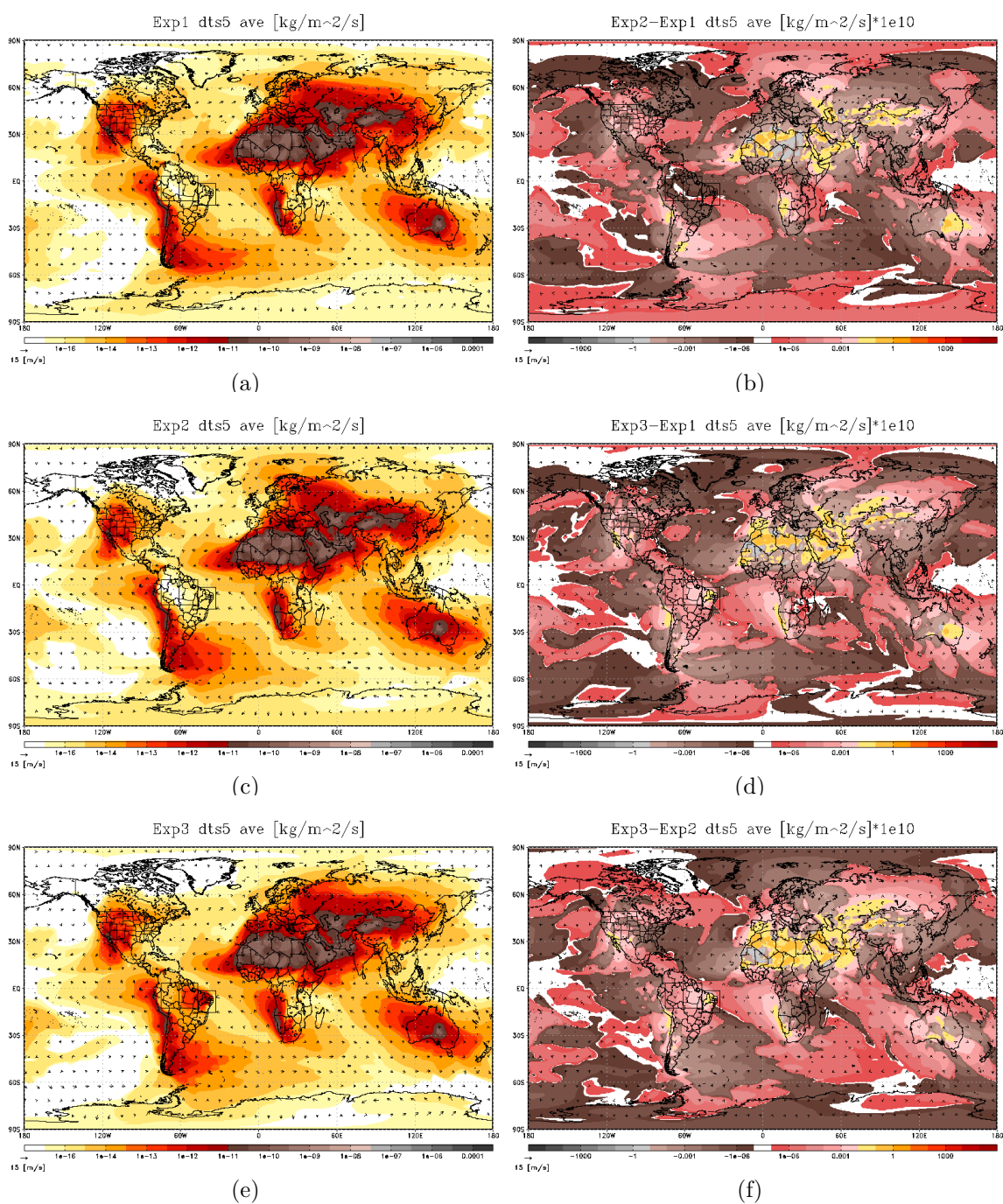


Figura 4.12 - Deposição gravitacional da poeira: *bin 5*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1*, (f) *Exp3* – *Exp2*.

A Tabela 4.3 mostra as sedimentações gravitacionais dentro das áreas de análises, para todas as classes de partículas dos três experimentos. Para a classe *all bins*, os valores globais (*Glb*) no *Exp2* mostraram uma redução na sedimentação gravitacional, enquanto que no *Exp3* houve um aumento. Estas variações acompanharam o aumento da emissão da poeira, como visto na seção 4.1.1. Comparando os valores globais entre as classes de poeira, a classe 5 é a mais significativa. Isto ocorre porque esta classe possui os maiores raios dentre as classes de partículas, e desta forma, mais massa.

Sobre a Amazônia, os valores das sedimentações gravitacionais no *Exp2* mostram que a quantidade depositada sobre a parte Oriental (*Am1*) e a Ocidental (*Am2*) tem origens remotas. A inclusão da Caatinga no *Exp3* intensificou a deposição gravitacional apenas sobre a Amazônia Oriental.

Tabela 4.3 - Sedimentação gravitacional por área e por classe. As análises ocorrem sobre o Globo, Caatinga e Amazônia. Os valores correspondem a soma das médias nas áreas de análises. Valores em $kg.m^{-2}.s^{-1}$

<i>DTSAll</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp2</i>
<i>dts all</i>	Glb	2.52340E-07	2.48039E-07	2.61544E-07	-4.30174E-09	9.20338E-09	1.35051E-08
	Ctg	1.76988E-13	1.06690E-13	1.61180E-10	-7.02971E-14	1.61003E-10	1.61073E-10
	Am1	1.14385E-13	4.12609E-14	6.80305E-11	-7.31242E-14	6.79161E-11	6.79892E-11
	Am2	3.33164E-13	3.43322E-13	3.49897E-12	1.01576E-14	3.16580E-12	3.15564E-12
<i>dts 1</i>	Glb	3.34633E-10	3.29440E-10	3.52499E-10	-5.19301E-12	1.78663E-11	2.30593E-11
	Ctg	1.90959E-16	1.19469E-16	2.23402E-13	-7.14898E-17	2.23211E-13	2.23282E-13
	Am1	1.16685E-16	4.41449E-17	1.05999E-13	-7.25398E-17	1.05882E-13	1.05955E-13
	Am2	5.01486E-16	5.18089E-16	5.15249E-15	1.66032E-17	4.65100E-15	4.63440E-15
<i>dts 2</i>	Glb	4.43670E-09	4.36498E-09	4.62581E-09	-7.17244E-11	1.89108E-10	2.60832E-10
	Ctg	2.74582E-15	1.68383E-15	2.87388E-12	-1.06199E-15	2.87114E-12	2.87220E-12
	Am1	1.78772E-15	6.58769E-16	1.28861E-12	-1.12895E-15	1.28682E-12	1.28795E-12
	Am2	6.06079E-15	6.21057E-15	6.36450E-14	1.49783E-16	5.75842E-14	5.74344E-14
<i>dts 3</i>	Glb	1.48148E-08	1.45720E-08	1.53914E-08	-2.42800E-10	5.76539E-10	8.19338E-10
	Ctg	9.49224E-15	5.78039E-15	9.50366E-12	-3.71184E-15	9.49417E-12	9.49788E-12
	Am1	6.29362E-15	2.29751E-15	4.15780E-12	-3.99612E-15	4.15150E-12	4.15550E-12
	Am2	1.96076E-14	2.00745E-14	2.06936E-13	4.66944E-16	1.87328E-13	1.86861E-13
<i>dts 4</i>	Glb	5.59776E-08	5.50450E-08	5.80386E-08	-9.32598E-10	2.06105E-09	2.99364E-09
	Ctg	3.73486E-14	2.26163E-14	3.57231E-11	-1.47323E-14	3.56858E-11	3.57005E-11
	Am1	2.47158E-14	8.95894E-15	1.52904E-11	-1.57569E-14	1.52656E-11	1.52814E-11
	Am2	7.30973E-14	7.50044E-14	7.71167E-13	1.90704E-15	6.98070E-13	6.96163E-13
<i>dts 5</i>	Glb	1.76777E-07	1.73727E-07	1.83135E-07	-3.04944E-09	6.35879E-09	9.40823E-09
	Ctg	1.27210E-13	7.64904E-14	1.12856E-10	-5.07195E-14	1.12729E-10	1.12779E-10
	Am1	8.14712E-14	2.93015E-14	4.71877E-11	-5.21697E-14	4.71063E-11	4.71584E-11
	Am2	2.33897E-13	2.41514E-13	2.45207E-12	7.61728E-15	2.21817E-12	2.21055E-12

4.1.3 – Simulando a deposição seca da poeira

A deposição seca (“*drydep*”) ocorre quando as partículas de poeira são fixadas nas superfícies devido as forças de adesão e coesão. Durante o processamento, a quantidade de poeira depositada na superfície é acumulada na variável “*DustDryDep*”. Após o pós-processamento, os valores acumulados são revertidos nos valores horários. Este procedimento foi descrito na Seção 4.1. Os resultados são as médias, os totais integrados, e as diferenças das médias entre as simulações. As análises individuais dos totais integrados para as 5 classes de partículas são mostradas no Apêndice C.1.

As médias das deposições secas e as diferenças entre estas médias, para todas as classes de partículas, e entre as três simulações são mostradas nas Figuras 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18. As deposições secas médias ocorrem principalmente sobre as regiões fontes e nas superfícies dos oceanos adjacentes, complementando a sedimentação gravitacional.

A Tabela 4.4 mostra os valores médios das deposições secas sobre o Globo, Caatinga e Amazônia, para todas as classes de partículas, e nos três experimentos. Dentro dos experimentos, as deposições secas aumentam com o aumento do raio das partículas, sendo que a classe 5 é a mais significativa para a classe agrupada. Entre os experimentos, o *Exp2* é o que apresentam os menores valores de deposição seca em todas as áreas de análises, e o *Exp3* apresentam os maiores valores devido a inclusão da Caatinga.

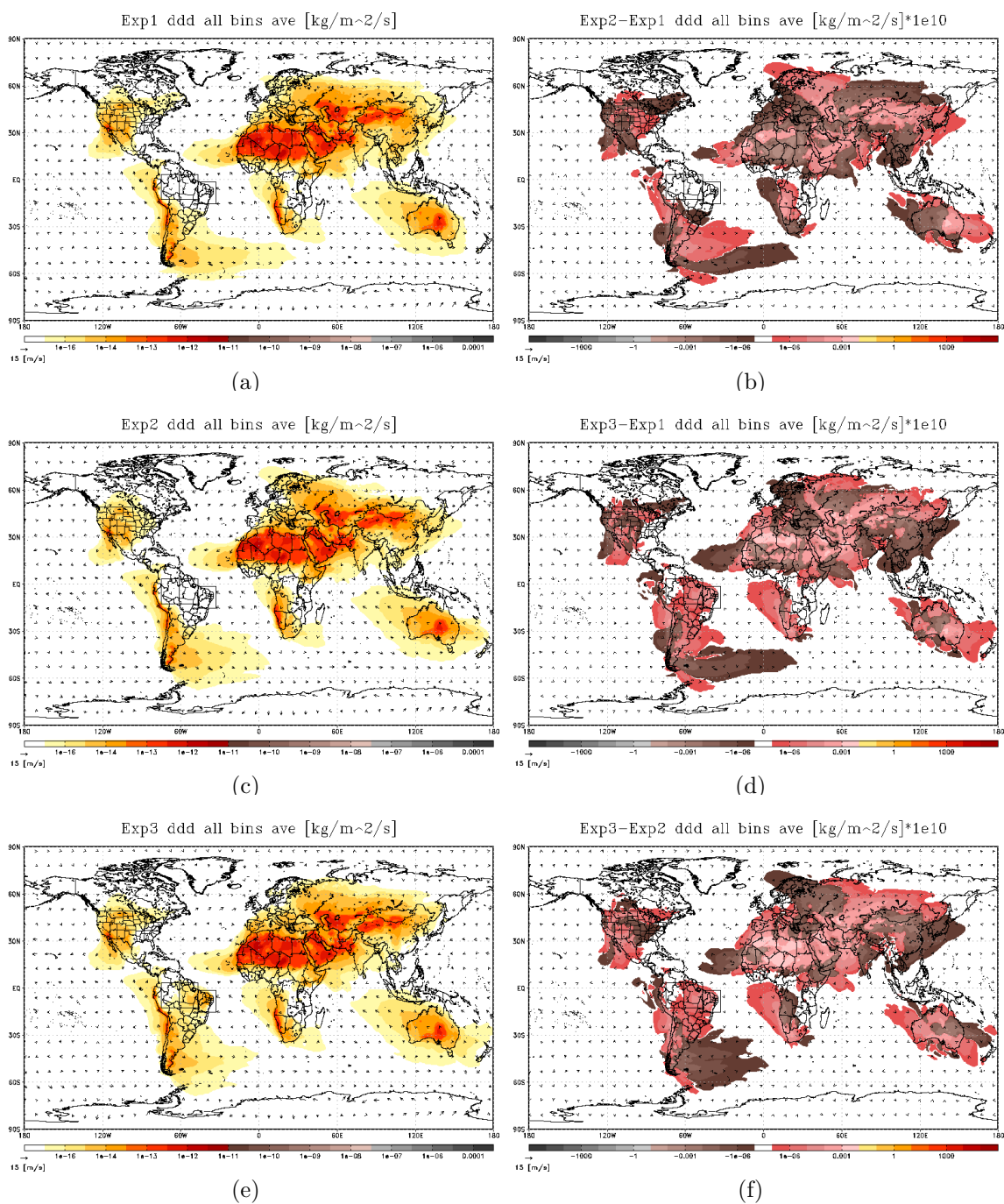


Figura 4.13 - Deposição seca da poeira: *All bins*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

Com enfoque na Amazônia, as deposições secas são maiores na Amazônia Ocidental (*Am2*) sem a inclusão da Caatinga, e são maiores na Amazônia Oriental (*Am1*) com a inclusão da Caatinga. Isto indica que as deposições seca no *Am2* ocorrem devido as fontes remotas de poeira no *Exp2*, e que com a inclusão da Caatinga, inverte este panorama.

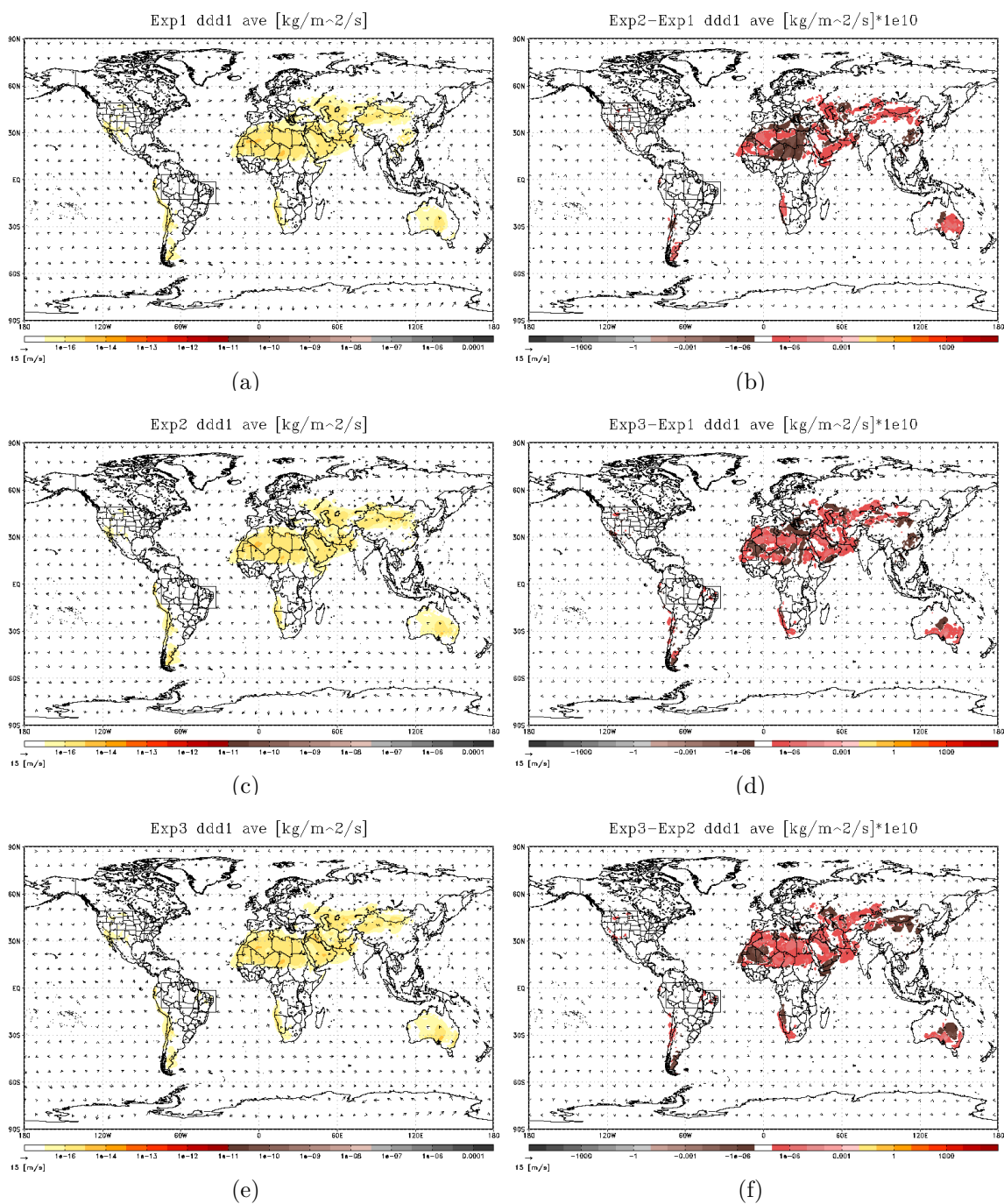


Figura 4.14 - Deposição seca da poeira: *bin 1*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* - *Exp1*, (d) *Exp3* - *Exp1*, (f) *Exp3* - *Exp2*.

As diferenças entre as médias das simulações mostram que as deposições secas estão distribuídas ao longo das correntes de vento que atuam sobre as regiões fontes. As diferenças negativas indicam que o experimento *Exp1* deposita uma quantidade maior de partículas de poeira na superfície que os outros experimentos, e pelos padrões apresentados, estas deposições ocorrem sobre regiões mais longínquas que os outros experimentos.

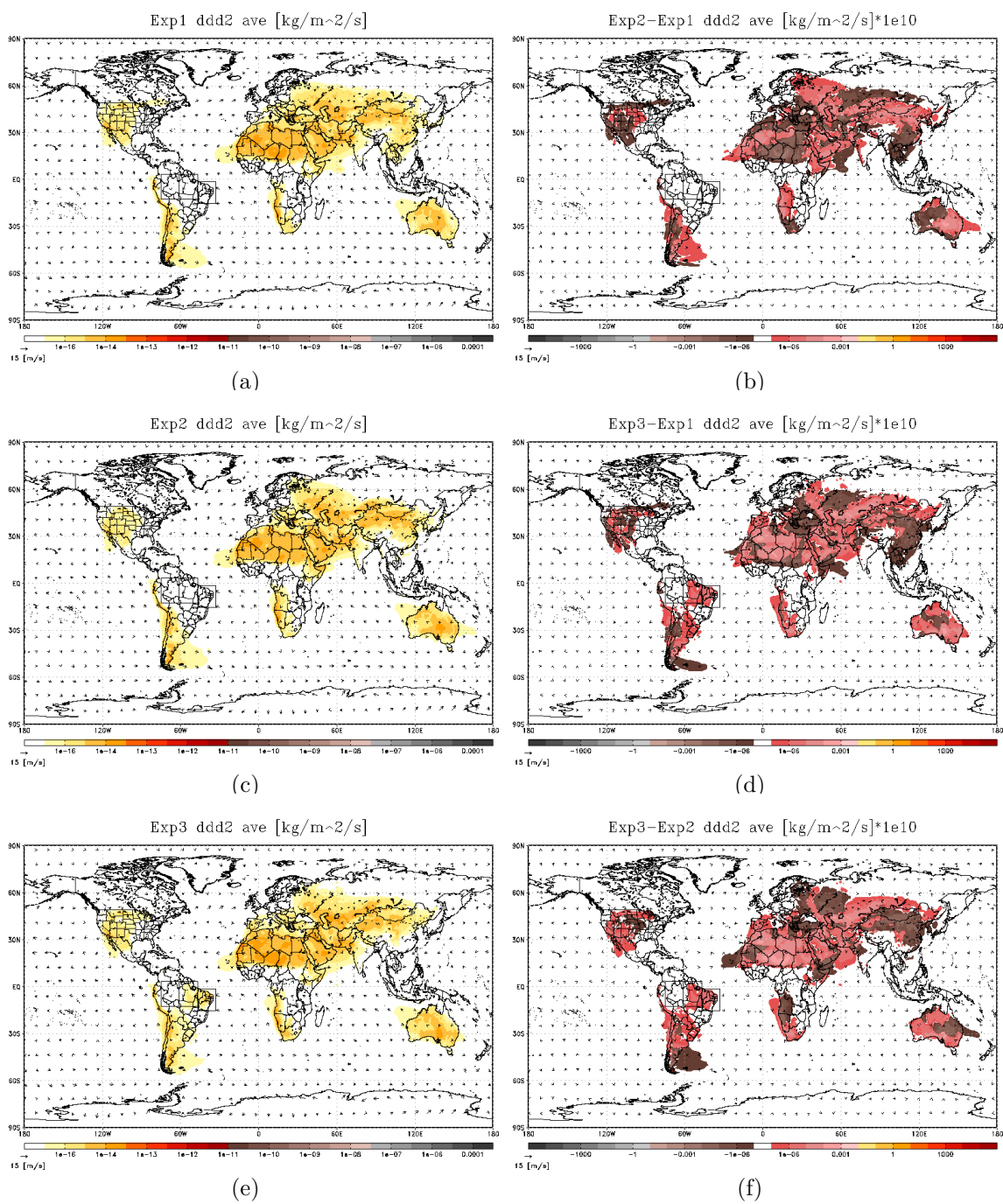


Figura 4.15 - Deposição seca da poeira: bin 2. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1*, (f) *Exp3* – *Exp2*.

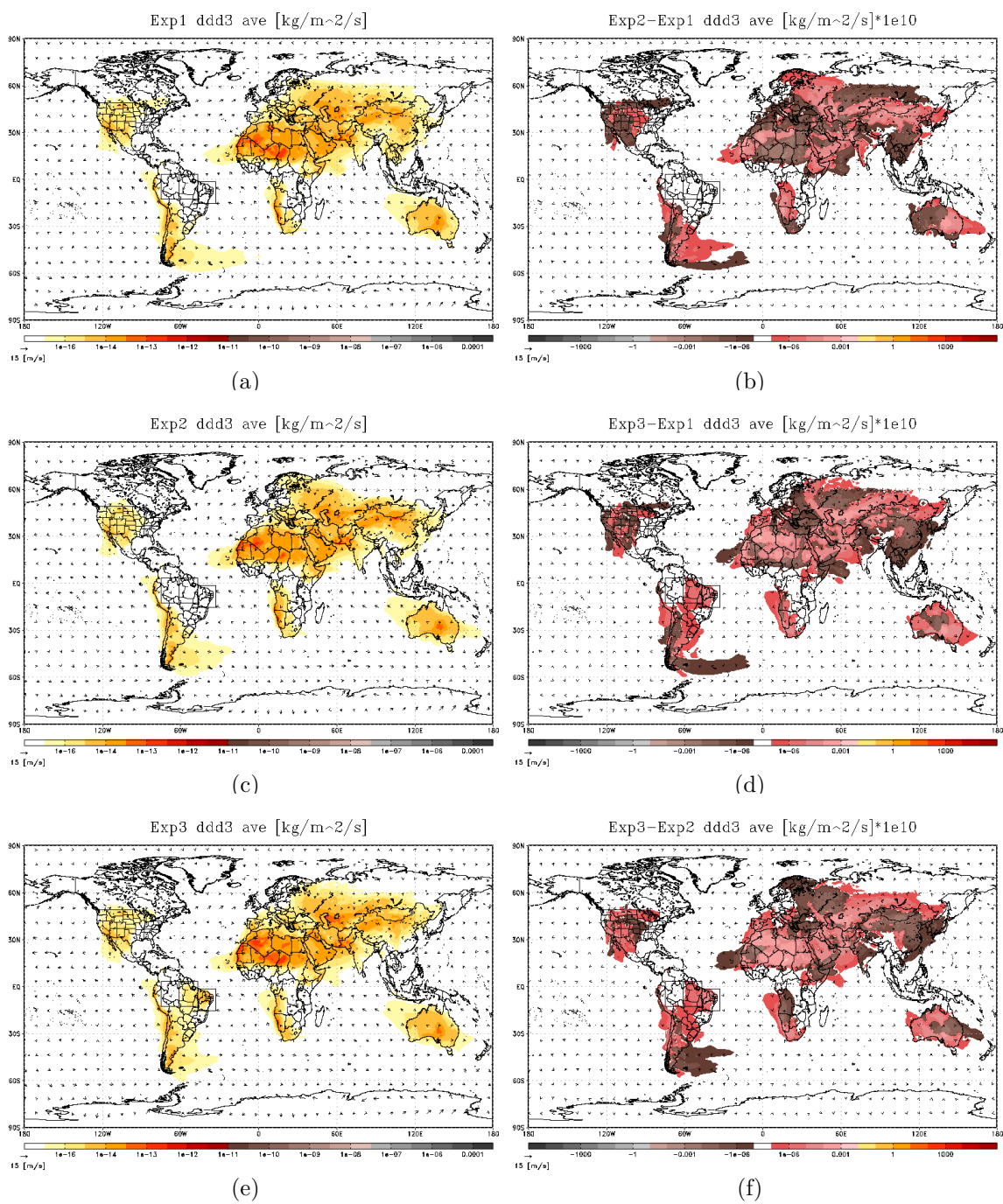


Figura 4.16 - Deposição seca da poeira: *bin 3*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1*, (f) *Exp3* – *Exp2*.

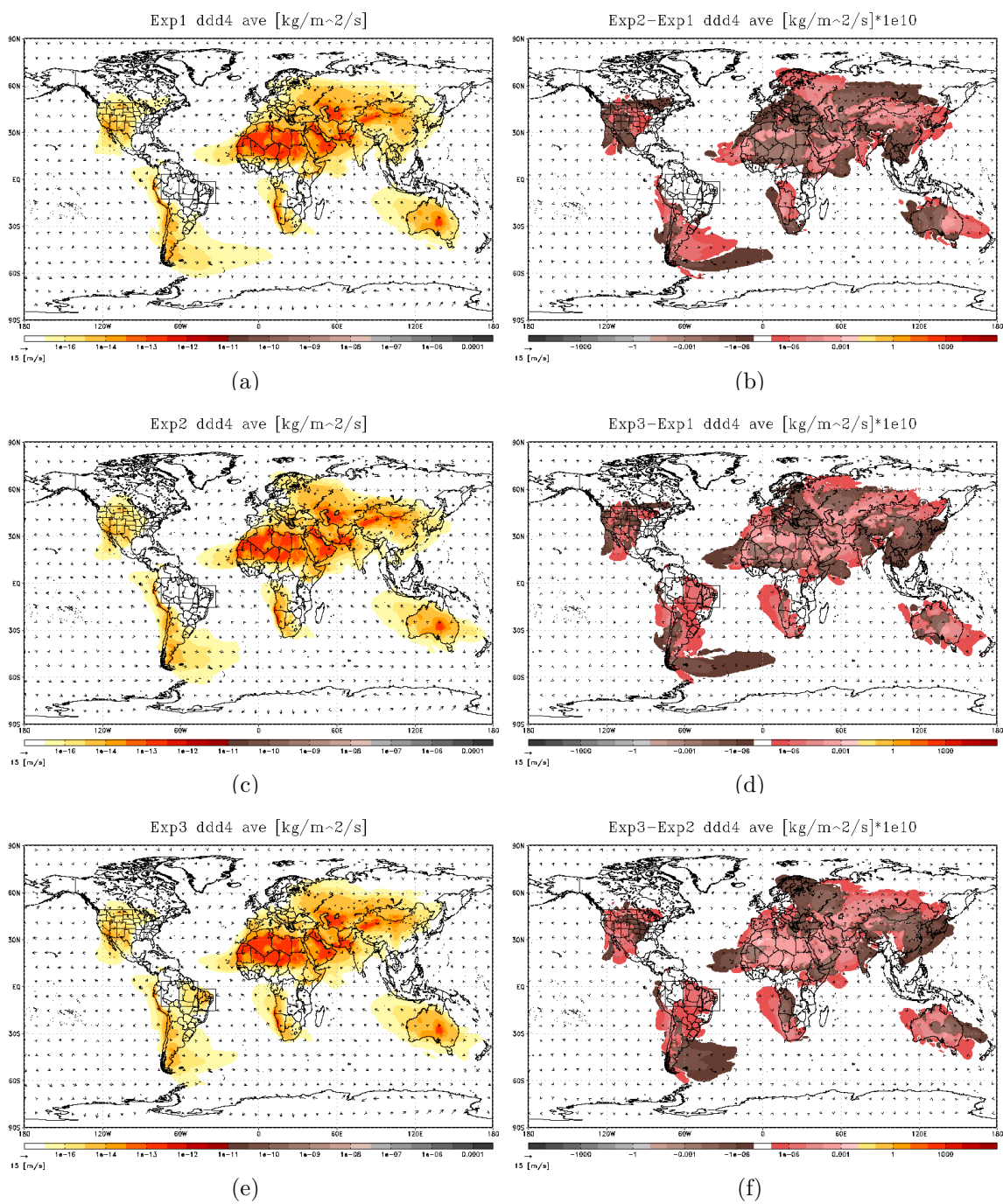


Figura 4.17 - Deposição seca da poeira: bin 4. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1*, (f) *Exp3* – *Exp2*.

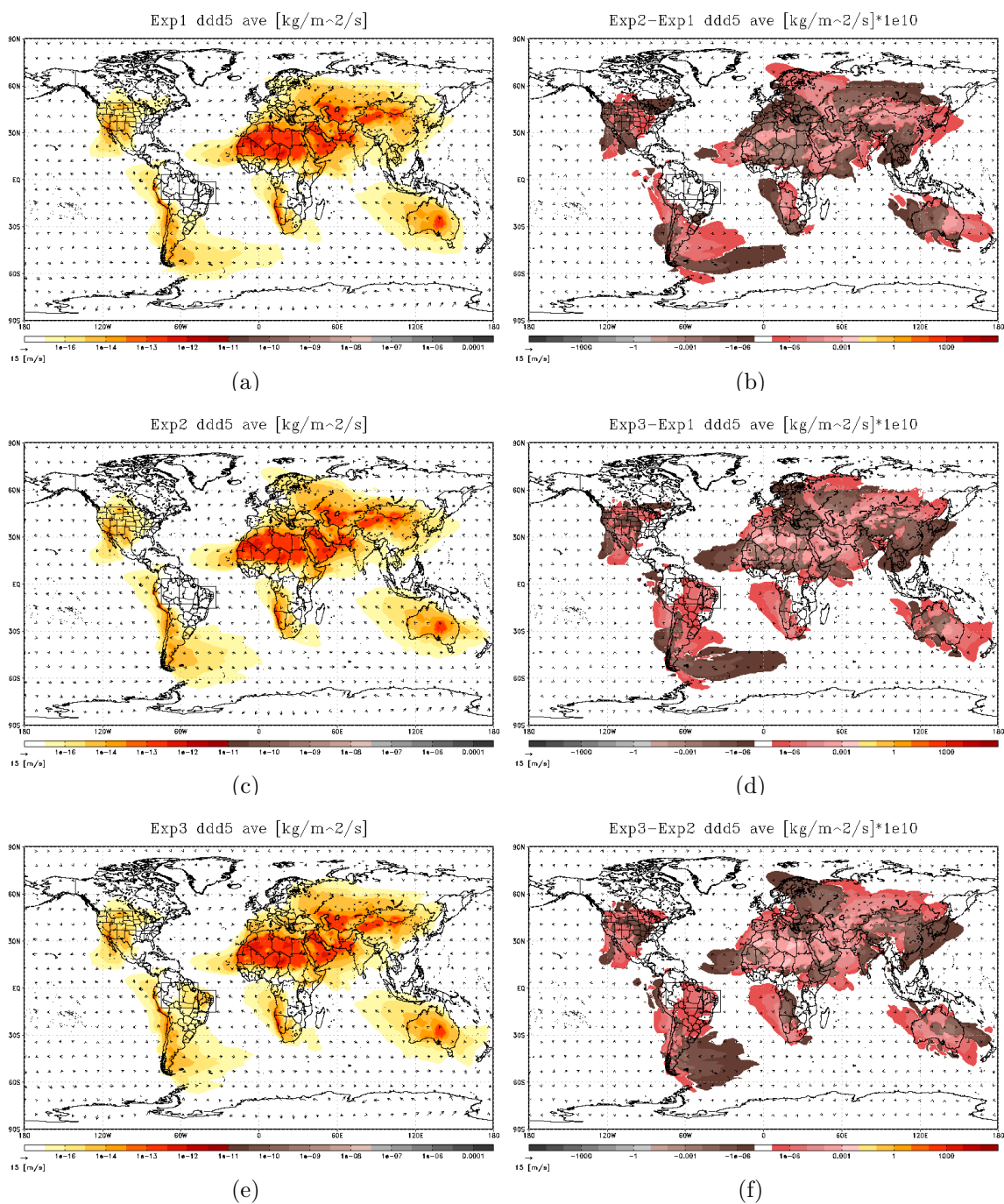


Figura 4.18 - Deposição seca da poeira: bin 5. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) $Exp2 - Exp1$, (d) $Exp3 - Exp1$, (f) $Exp3 - Exp2$.

Os valores das diferenças das deposições secas para as áreas de análises são mostrados nas 3 últimas colunas da direita da Tabela 4.4. Com exceção das classes 1 e 2, todos os valores de deposições secas do *Exp1* são maiores do que *Exp2*. Este padrão se inverte em relação ao *Exp3*.

Tabela 4.4 - Deposição seca da poeira por área e por classe. As análises ocorrem sobre o globo, Caatinga e Amazônia. Os valores correspondem a soma das médias nas áreas selecionadas.

<i>Deposição seca</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 – Exp1</i>	<i>Exp3 – Exp1</i>	<i>Exp3 – Exp2</i>
<i>ddd</i>	Glb	8.24686E-10	7.91139E-10	8.63500E-10	-3.35468E-11	3.88140E-11	7.23608E-11
	Ctg	2.39791E-16	1.61770E-16	9.18193E-13	-7.80209E-17	9.17953E-13	9.18031E-13
	Am1	2.60184E-16	1.00587E-16	2.24406E-13	-1.59597E-16	2.24146E-13	2.24305E-13
	Am2	6.94356E-16	4.91117E-16	4.29765E-15	-2.03240E-16	3.60329E-15	3.80653E-15
<i>ddd 1</i>	Glb	8.24264E-13	8.35099E-13	9.02754E-13	1.08352E-14	7.84905E-14	6.76552E-14
	Ctg	2.73523E-19	1.86975E-19	7.43623E-16	-8.65475E-20	7.43349E-16	7.43436E-16
	Am1	2.85875E-19	1.12689E-19	3.03221E-16	-1.73186E-19	3.02935E-16	3.03108E-16
	Am2	1.23019E-18	7.27795E-19	3.40742E-18	-5.02397E-19	2.17723E-18	2.67962E-18
<i>ddd 2</i>	Glb	1.55819E-11	1.57167E-11	1.87449E-11	1.34774E-13	3.16300E-12	3.02822E-12
	Ctg	1.65559E-17	1.27335E-17	6.72832E-14	-3.82236E-18	6.72666E-14	6.72705E-14
	Am1	1.83266E-17	7.29742E-18	1.86028E-14	-1.10291E-17	1.85845E-14	1.85955E-14
	Am2	4.18359E-17	1.61017E-17	1.56882E-16	-2.57342E-17	1.15046E-16	1.40780E-16
<i>ddd 3</i>	Glb	6.86564E-11	6.59299E-11	7.78388E-11	-2.72653E-12	9.18238E-12	1.19089E-11
	Ctg	4.14306E-17	3.03373E-17	1.69891E-13	-1.10933E-17	1.69849E-13	1.69861E-13
	Am1	4.72896E-17	1.85823E-17	4.48149E-14	-2.87074E-17	4.47676E-14	4.47963E-14
	Am2	1.02557E-16	5.11231E-17	6.04413E-16	-5.14342E-17	5.01856E-16	5.53290E-16
<i>ddd 4</i>	Glb	2.25743E-10	2.12298E-10	2.35329E-10	-1.34442E-11	9.58636E-12	2.30305E-11
	Ctg	6.95958E-17	4.74115E-17	2.78479E-13	-2.21843E-17	2.78409E-13	2.78431E-13
	Am1	8.05929E-17	3.10942E-17	6.93755E-14	-4.94987E-17	6.92949E-14	6.93444E-14
	Am2	1.95789E-16	1.26703E-16	1.37335E-15	-6.90864E-17	1.17756E-15	1.24665E-15
<i>ddd 5</i>	Glb	5.13881E-10	4.96359E-10	5.30685E-10	-1.75218E-11	1.68038E-11	3.43255E-11
	Ctg	1.11935E-16	7.11009E-17	4.01797E-13	-4.08344E-17	4.01685E-13	4.01726E-13
	Am1	1.13689E-16	4.35005E-17	9.13096E-14	-7.01881E-17	9.11959E-14	9.12661E-14
	Am2	3.52944E-16	2.96462E-16	2.15960E-15	-5.64824E-17	1.80666E-15	1.86314E-15

4.1.4 – Simulando a deposição úmida da poeira

No *CCATT*, a deposição úmida (“*wetdep*”) é proporcional ao fluxo de massa de vapor de água que condensa na forma de gotas de chuva. Assume-se que as partículas de poeira são coletadas pela umidade durante a formação das gotículas, e também através dos choques entre as partículas de poeiras e as gotículas dentro das nuvens. Posteriormente, essas gotículas precipitam e transportam as partículas de poeira para a superfície.

A quantidade de poeira depositada na superfície é armazenada na variável “*DustWetDep*”. Utilizando os procedimentos de tratamento das variáveis acumuladas descritos na Seção 4.1, obtém-se as médias, os totais integrados, e as diferenças entre as médias. Os totais integrados para as classes das partículas são mostradas no Apêndice C.1.

As Figuras 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 e 4.24 mostram as médias e as diferenças entre as médias das deposições úmidas. Devido a sua formulação, as deposições úmidas médias acompanham os padrões da convecção profunda. As deposições úmidas médias apresentam os máximos nas regiões leste da Ásia, da Europa, da Austrália, e também nas regiões equatoriais dos oceanos Atlântico e Índico, e da África. Infelizmente, o curto período das simulações impossibilita que os padrões das deposições úmidas sejam mais representativas.

As diferenças das médias entre os experimentos $Exp2 - Exp1$ e $Exp3 - Exp1$ apresentam áreas com valores positivos maiores do que as áreas dos valores negativos. Isto indica que nos experimentos com a poeira acoplada na radiação, a precipitação convectiva é maior do que a do experimento controle.

A Tabela 4.5 mostra os valores das deposições úmidas nas áreas de análises. Nos experimentos *Exp1*, *Exp2* e *Exp3*, existe um aumento das deposições úmidas que acompanha o aumento dos raios das partículas, em todas as áreas analisadas. Contudo, entre os experimentos *Exp2* – *Exp1* são notados um aumento global das deposições úmidas enquanto que regionalmente exista uma diminuição da quantidade depositada. Entre os experimentos *Exp3* – *Exp1* houve um aumento das deposições úmidas em todas as áreas, a exceção da Caatinga que apresentou valores negativos.

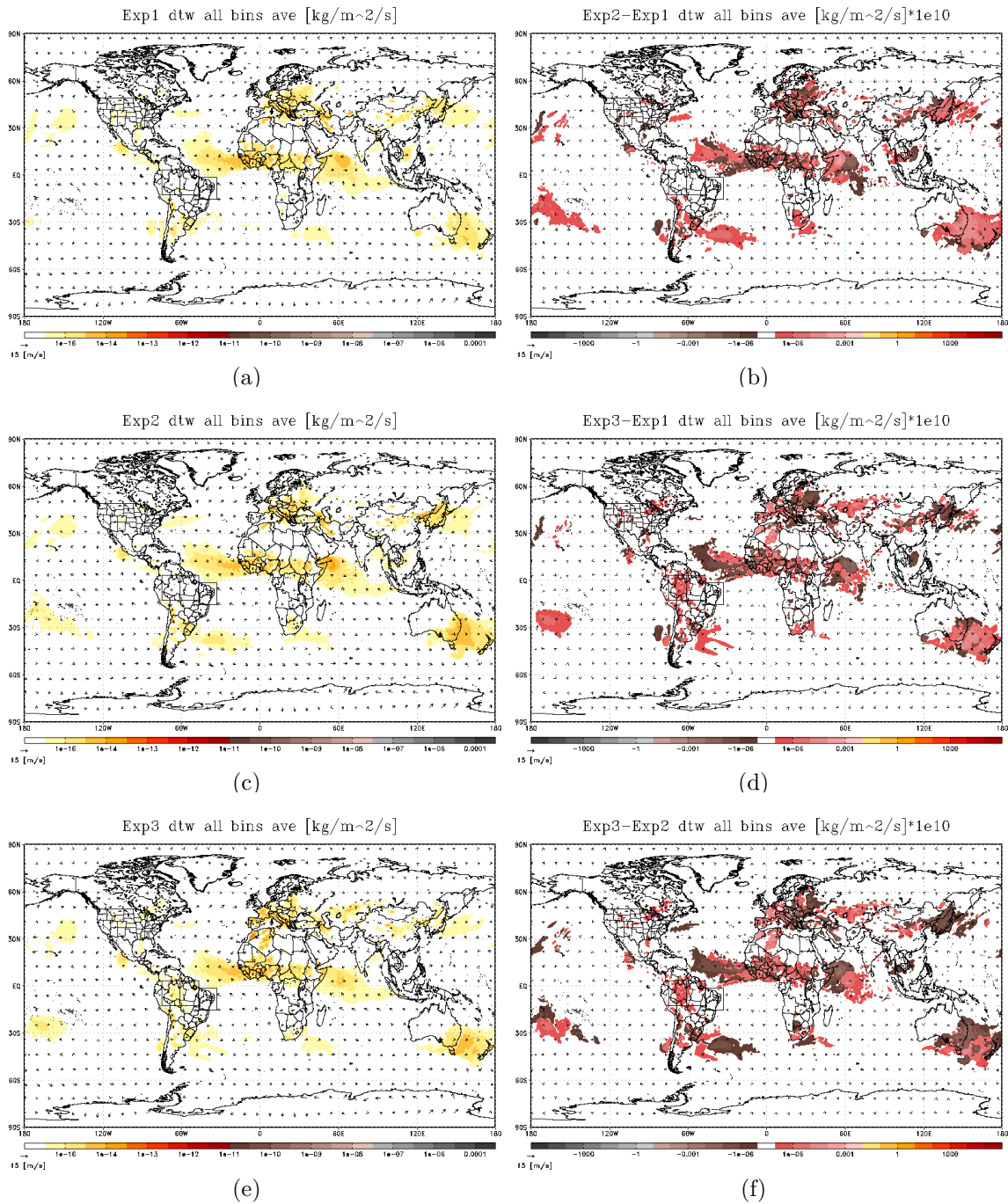


Figura 4.19 - Deposição úmida da poeira: *All bins*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1*, (f) *Exp3* – *Exp2*.

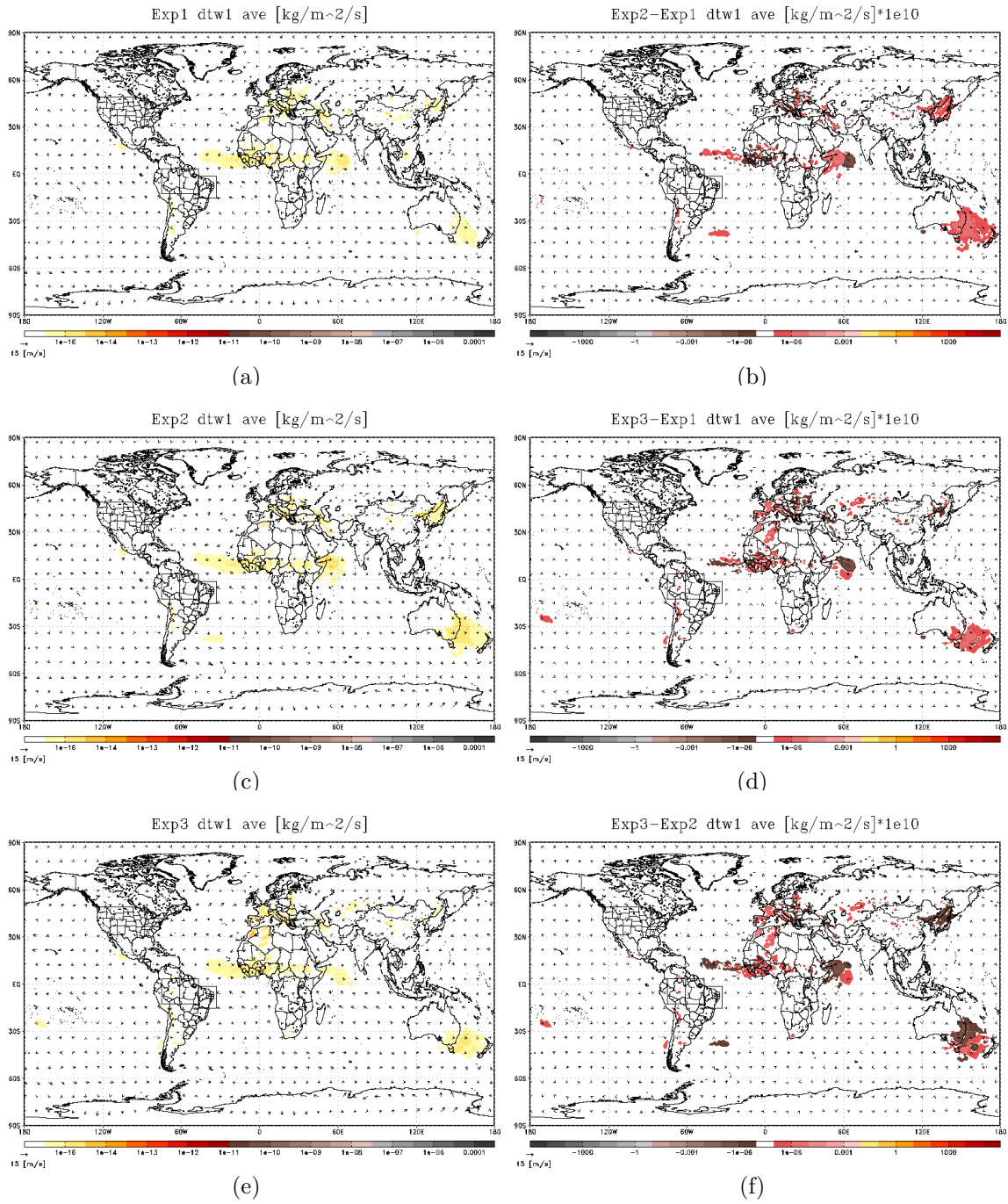


Figura 4.20 - Deposição úmida da poeira: *bin 1*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1*, (f) *Exp3* – *Exp2*.

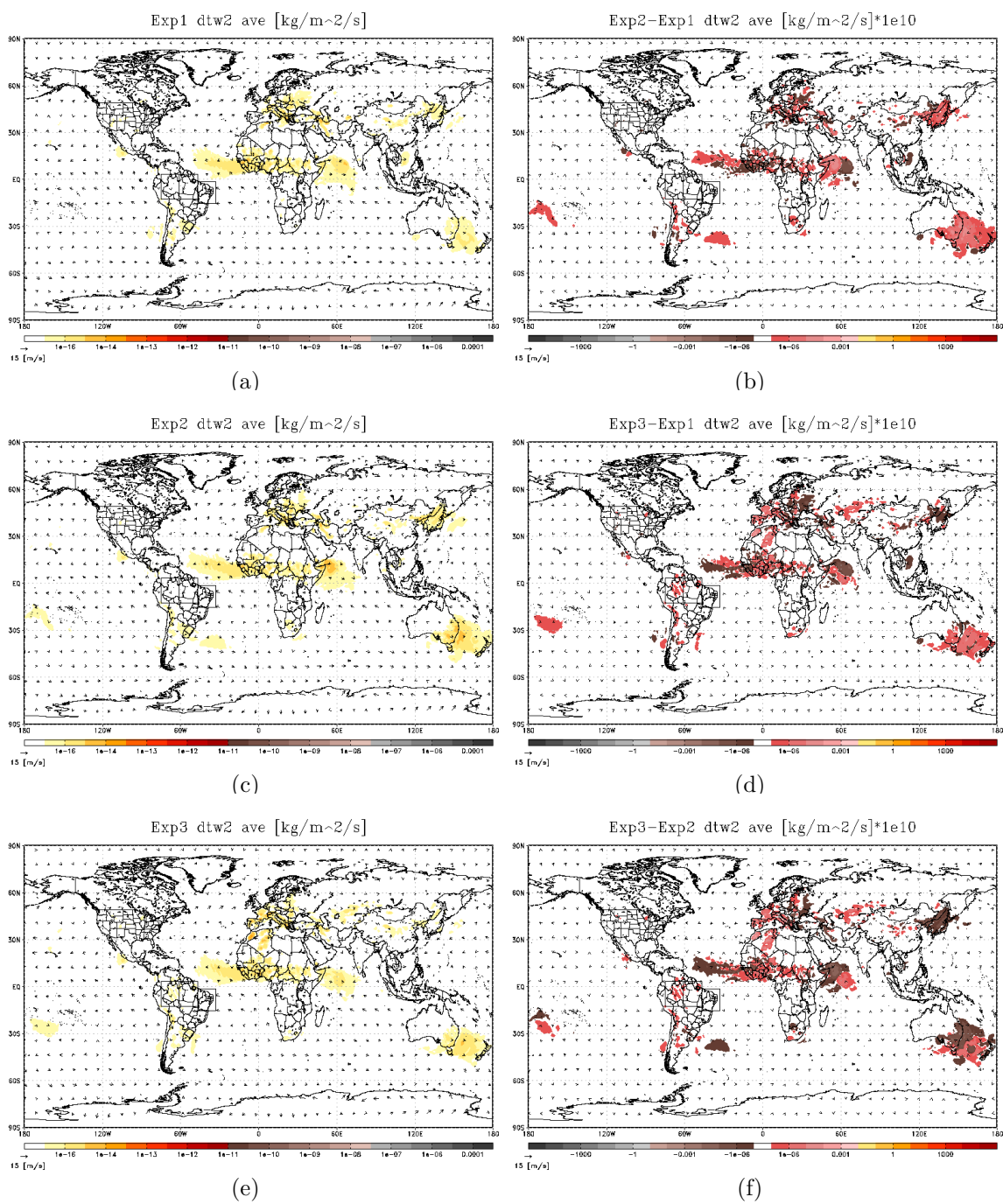


Figura 4.21 - Deposição úmida da poeira: *bin 2*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

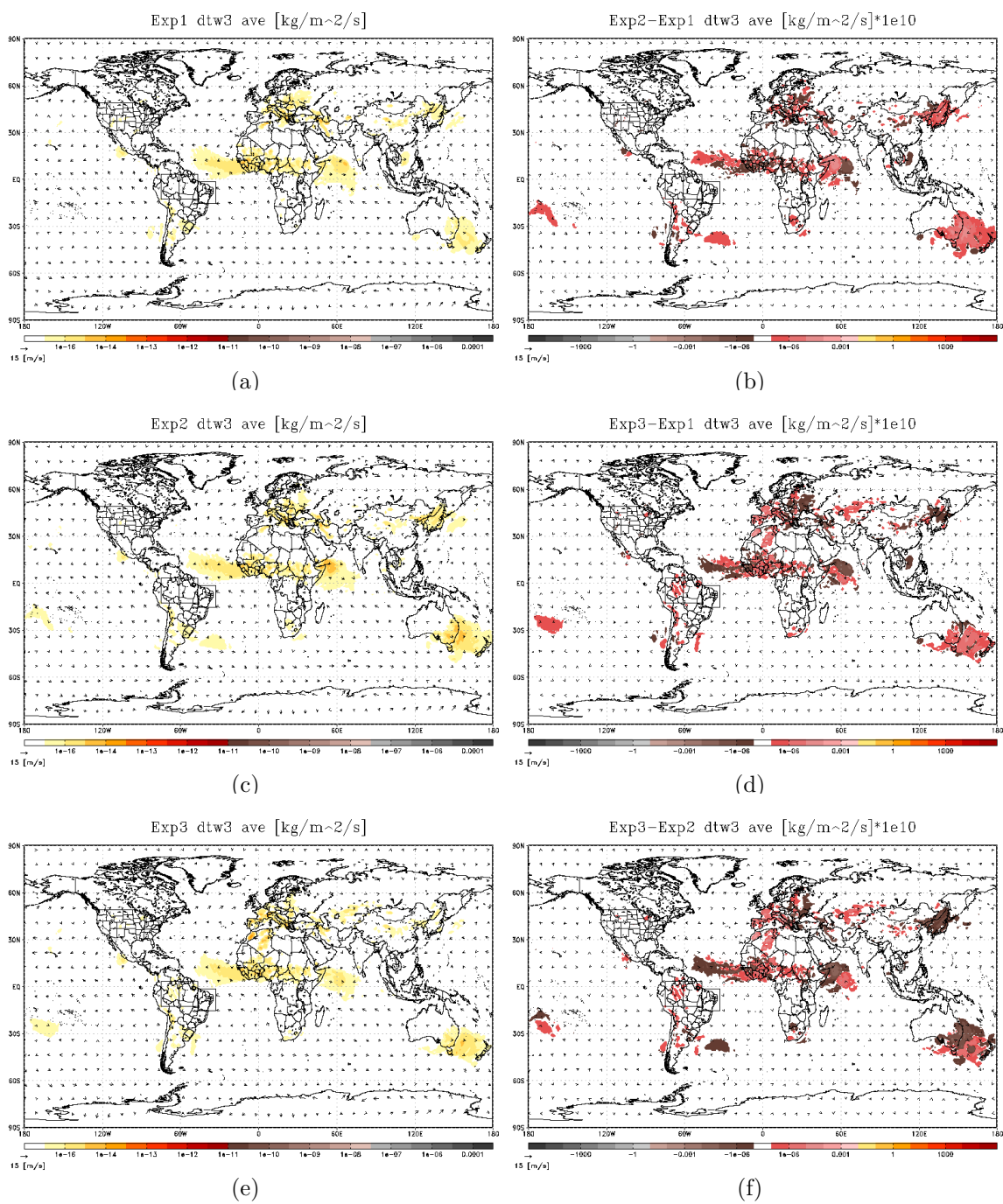


Figura 4.22 - Deposição úmida da poeira: bin 3. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1*, (f) *Exp3* – *Exp2*.

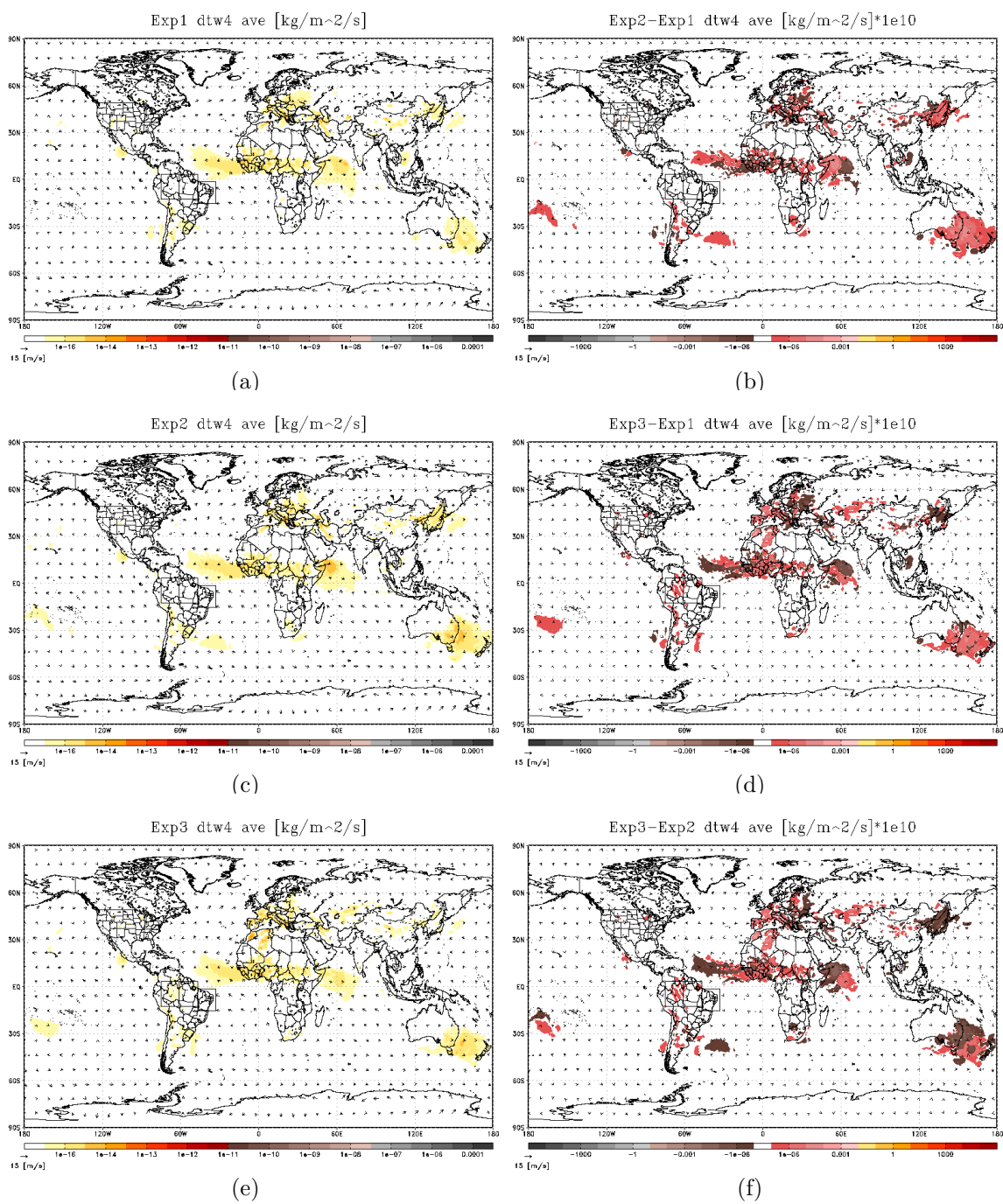


Figura 4.23 - Deposição úmida da poeira: bin 4. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1*, (f) *Exp3* – *Exp2*.

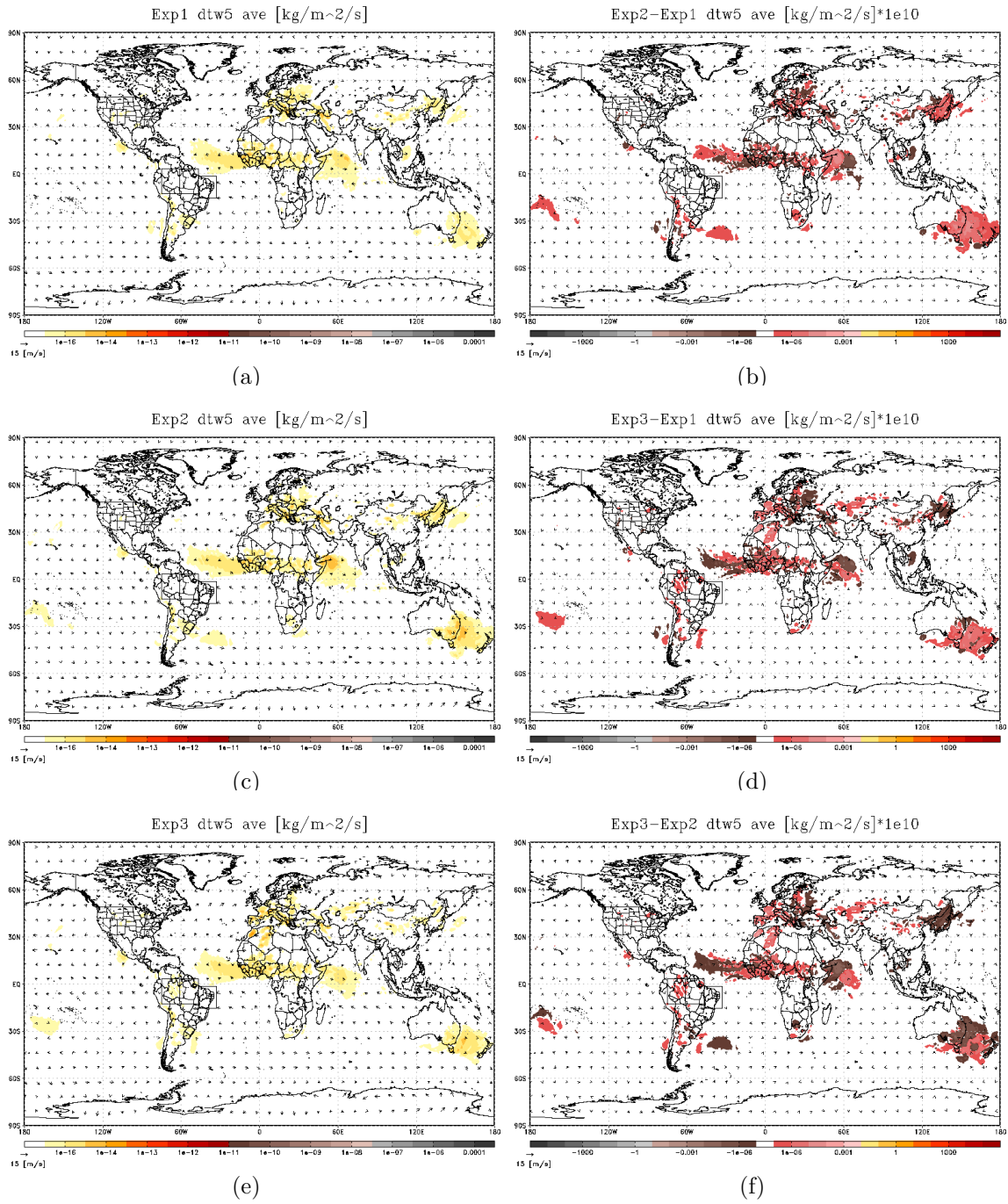


Figura 4.24 - Deposição úmida da poeira: bin 5. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1*, (f) *Exp3* – *Exp2*.

Tabela 4.5 - Deposição úmida da poeira por área e por classe. As análises ocorrem sobre o globo, Caatinga e Amazônia. Os valores correspondem a soma das médias nas áreas selecionadas.

<i>Deposição úmida</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp2</i>
<i>dtw all</i>	Glb	1.85234E-12	3.34919E-12	2.68247E-12	1.49685E-12	8.30127E-13	-6.66723E-13
	Ctg	2.09354E-16	1.70019E-16	1.69121E-16	-3.93350E-17	-4.02333E-17	-8.98239E-19
	Am1	3.02789E-16	2.20291E-16	3.81164E-15	-8.24982E-17	3.50885E-15	3.59135E-15
	Am2	7.35856E-16	6.58953E-16	7.80692E-15	-7.69030E-17	7.07106E-15	7.14797E-15
<i>dtw 1</i>	Glb	1.04891E-13	2.14142E-13	1.63796E-13	1.09251E-13	5.89056E-14	-5.03458E-14
	Ctg	9.71112E-18	8.07110E-18	8.27521E-18	-1.64002E-18	-1.43590E-18	2.04114E-19
	Am1	1.86281E-17	1.26859E-17	2.50789E-16	-5.94221E-18	2.32161E-16	2.38103E-16
	Am2	4.76790E-17	4.14864E-17	5.04374E-16	-6.19257E-18	4.56695E-16	4.62888E-16
<i>dtw 2</i>	Glb	3.62764E-13	6.79506E-13	5.37571E-13	3.16742E-13	1.74807E-13	-1.41935E-13
	Ctg	3.90445E-17	3.17897E-17	3.19077E-17	-7.25483E-18	-7.13687E-18	1.17959E-19
	Am1	6.07461E-17	4.32678E-17	7.82974E-16	-1.74783E-17	7.22228E-16	7.39706E-16
	Am2	1.50062E-16	1.33074E-16	1.59242E-15	-1.69883E-17	1.44236E-15	1.45935E-15
<i>dtw 3</i>	Glb	4.18081E-13	7.57765E-13	6.07305E-13	3.39684E-13	1.89223E-13	-1.50460E-13
	Ctg	4.73222E-17	3.83240E-17	3.81450E-17	-8.99826E-18	-9.17722E-18	-1.78959E-19
	Am1	6.85008E-17	4.96799E-17	8.65910E-16	-1.88209E-17	7.97410E-16	8.16230E-16
	Am2	1.66573E-16	1.48941E-16	1.76829E-15	-1.76313E-17	1.60172E-15	1.61935E-15
<i>dtw 4</i>	Glb	4.64015E-13	8.22261E-13	6.64224E-13	3.58246E-13	2.00209E-13	-1.58037E-13
	Ctg	5.40462E-17	4.37166E-17	4.32986E-17	-1.03296E-17	-1.07477E-17	-4.18077E-19
	Am1	7.48727E-17	5.50445E-17	9.31799E-16	-1.98282E-17	8.56926E-16	8.76754E-16
	Am2	1.80152E-16	1.62053E-16	1.91195E-15	-1.80992E-17	1.73180E-15	1.74990E-15
<i>dtw 5</i>	Glb	5.02593E-13	8.75520E-13	7.09575E-13	3.72927E-13	2.06982E-13	-1.65945E-13
	Ctg	5.92299E-17	4.81175E-17	4.74942E-17	-1.11124E-17	-1.17356E-17	-6.23277E-19
	Am1	8.00416E-17	5.96129E-17	9.80164E-16	-2.04286E-17	9.00122E-16	9.20551E-16
	Am2	1.91390E-16	1.73398E-16	2.02988E-15	-1.79917E-17	1.83849E-15	1.85648E-15

4.1.5 – Simulando o transporte da poeira

No *CCATT*, as partículas de poeira são injetadas na atmosfera pelos processos de emissões. Uma vez presente na atmosfera, os processos de sedimentações gravitacionais e deposições secas e úmidas conduzem a poeira de volta para a superfície. A quantidade de poeira residual que permanece na atmosfera é armazenado na tendência. No *MCGA*, os perfis de poeira da atmosfera são armazenados dentro da variável “*fpass_scalars*”. A cada *timestep*, o *fpass_scalars* é atualizado com a tendência, e em seguida é transportado pela advecção. Os perfis de poeira transportados na atmosfera são editados nos arquivos prognósticos a cada 1 hora de integração.

Estes conteúdos de poeira horários são utilizados para editar as médias, os totais integrados, e as diferenças entre as médias para os 3 experimentos. Estas variáveis são analisadas em 3 níveis de pressão: 925 *mb*, 500 *mb*, e 200 *mb*. Os conteúdos totais integrados ao longo do período são mostrados no Apêndice E.1.

As Figuras 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30 mostram os conteúdos de poeira transportados no nível de pressão de 925 *mb* para todas as classes de partículas. Nestas Figuras, as médias dos conteúdos transportados apresentam máximos localizados sobre as principais regiões fontes: norte e sudoeste da África, Oriente Médio, oeste da Ásia, centro-oeste da Austrália, e sudoestes das Américas do Norte e do Sul. Os valores mínimos estão localizados sobre os polos, Oceano Pacífico Equatorial e Amazônia Ocidental (no *Exp1* e *Exp2*).

As diferenças das médias mostram muitas semelhanças entre as comparações dos experimentos, a exceção é transporte de poeira proveniente da África em direção a Amazônia que ocorre em

$Exp2 - Exp1$, e que aparece deslocada para o norte em $Exp3 - Exp1$. Os valores negativos indicam que o padrão pertence ao experimento controle.

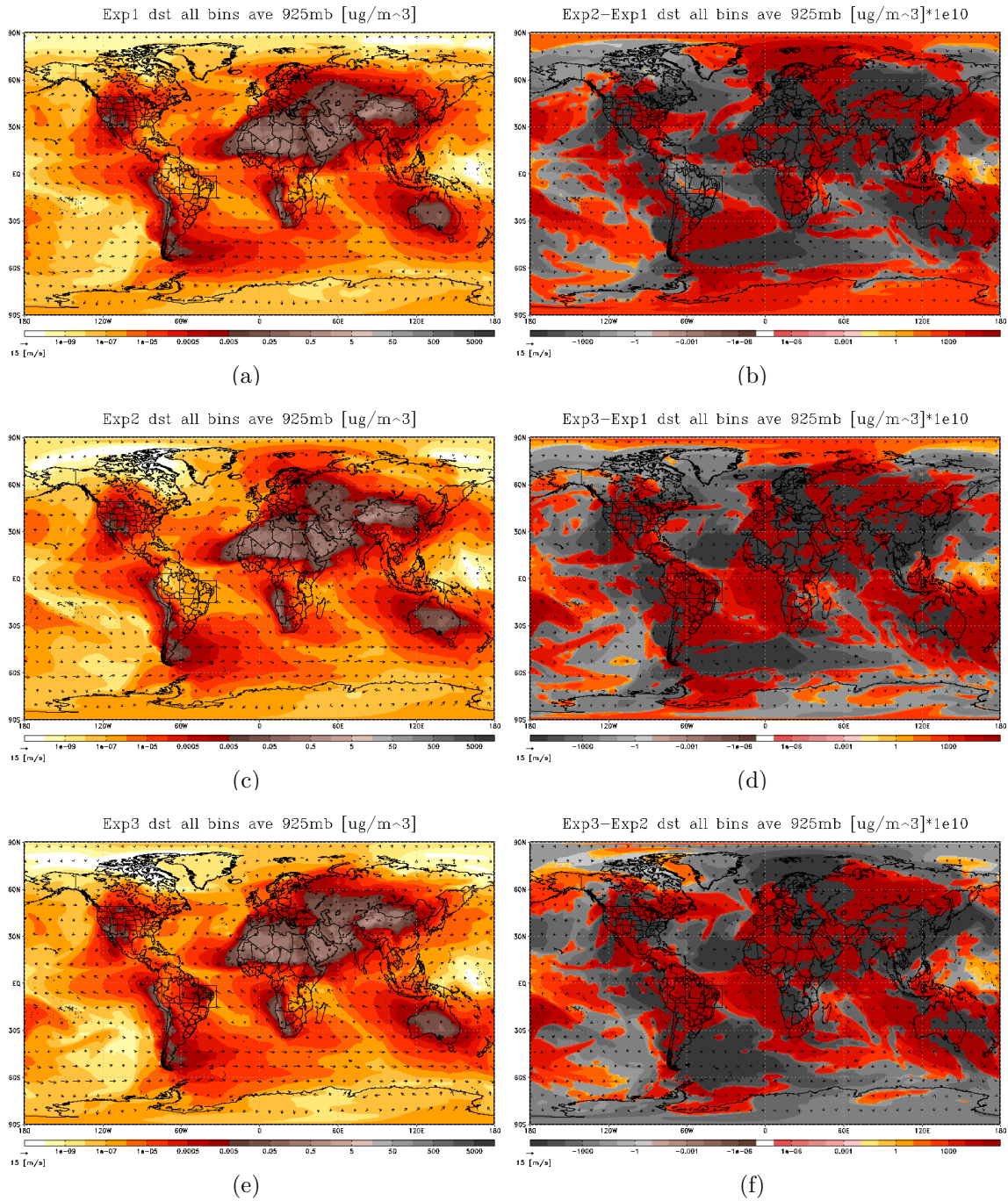


Figura 4.25 - Transporte da poeira na atmosfera em 925mb: *All bins*. Médias: (a) $Exp1$, (c) $Exp2$, (e) $Exp3$. Diferenças: (b) $Exp2 - Exp1$, (d) $Exp3 - Exp1$, (f) $Exp3 - Exp2$.

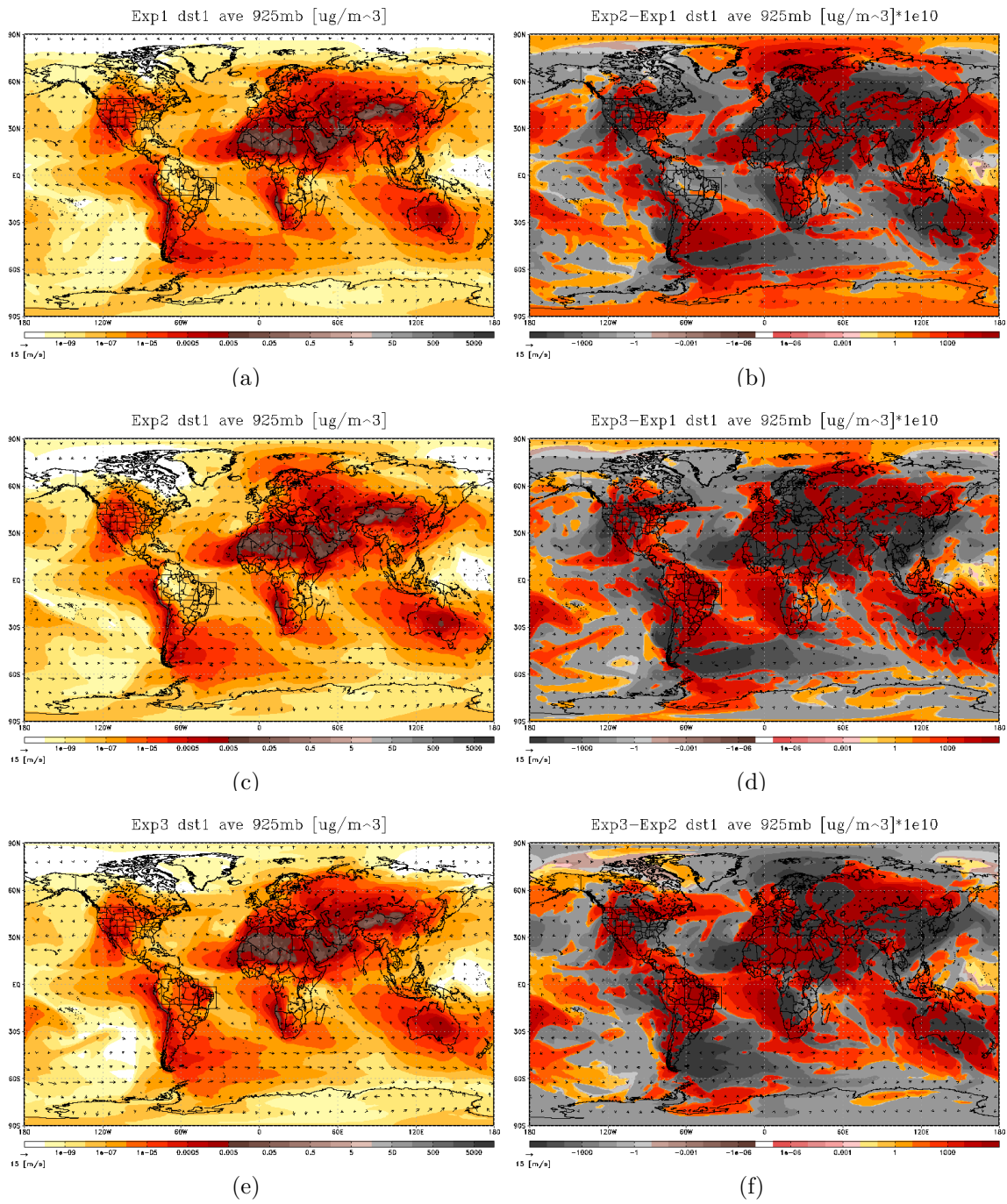


Figura 4.26 - Transporte da poeira na atmosfera em 925mb: *bin 1*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

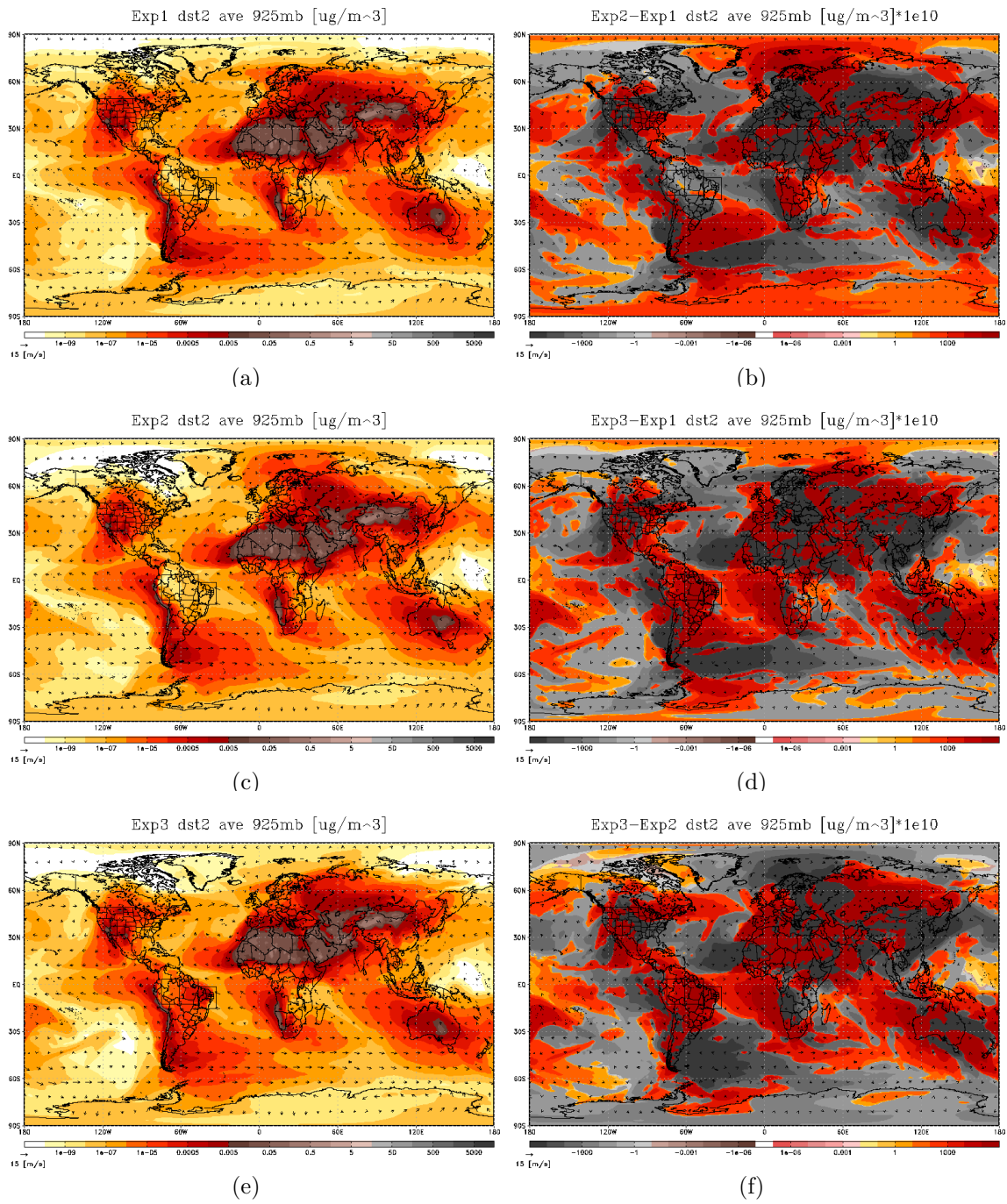


Figura 4.27 - Transporte da poeira na atmosfera em 925mb: *bin 2*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

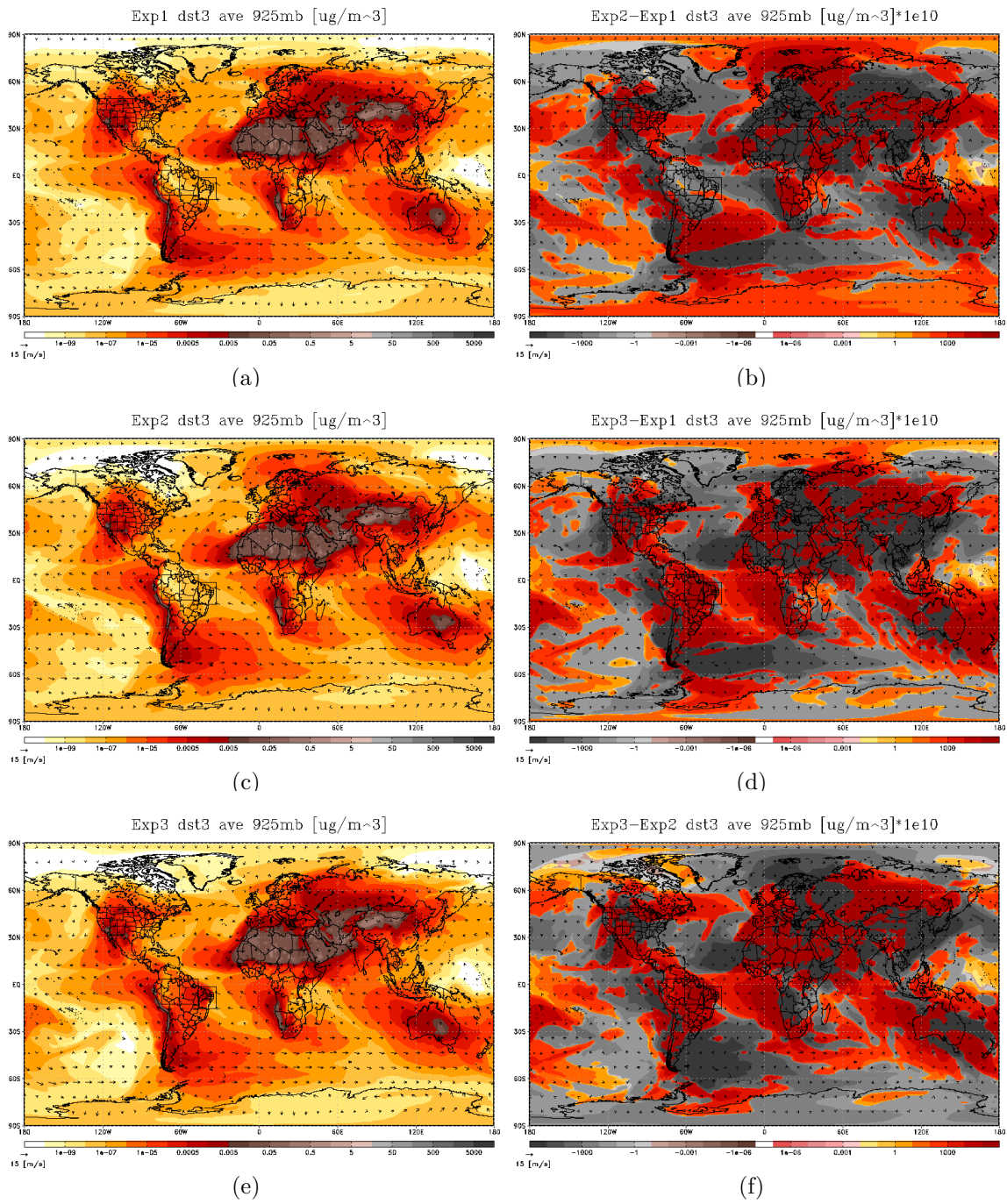


Figura 4.28 - Transporte da poeira na atmosfera em 925mb: bin 3. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* - *Exp1*, (d) *Exp3* - *Exp1*, (f) *Exp3* - *Exp2*.

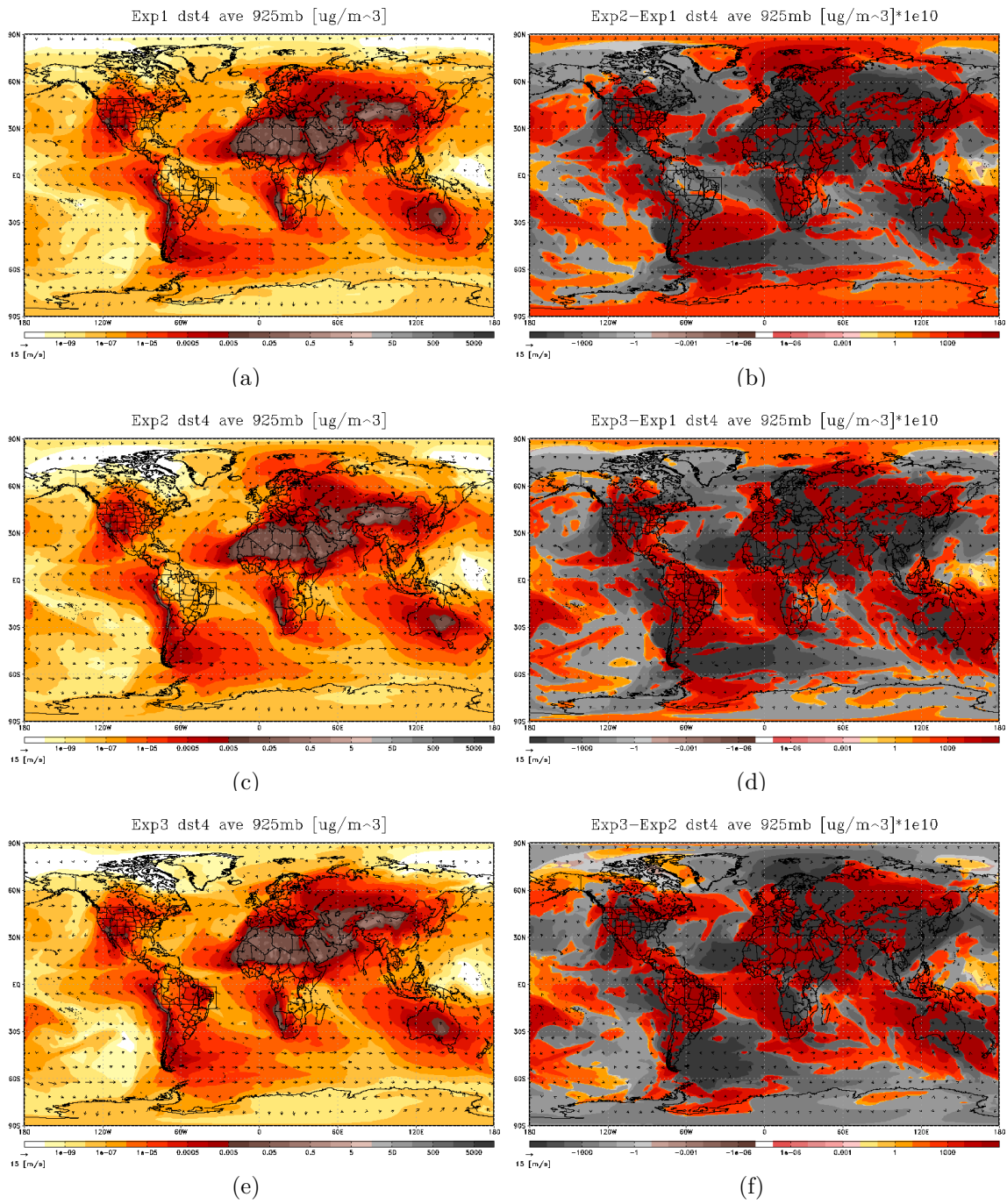


Figura 4.29 - Transporte da poeira na atmosfera em 925mb: *bin 4*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

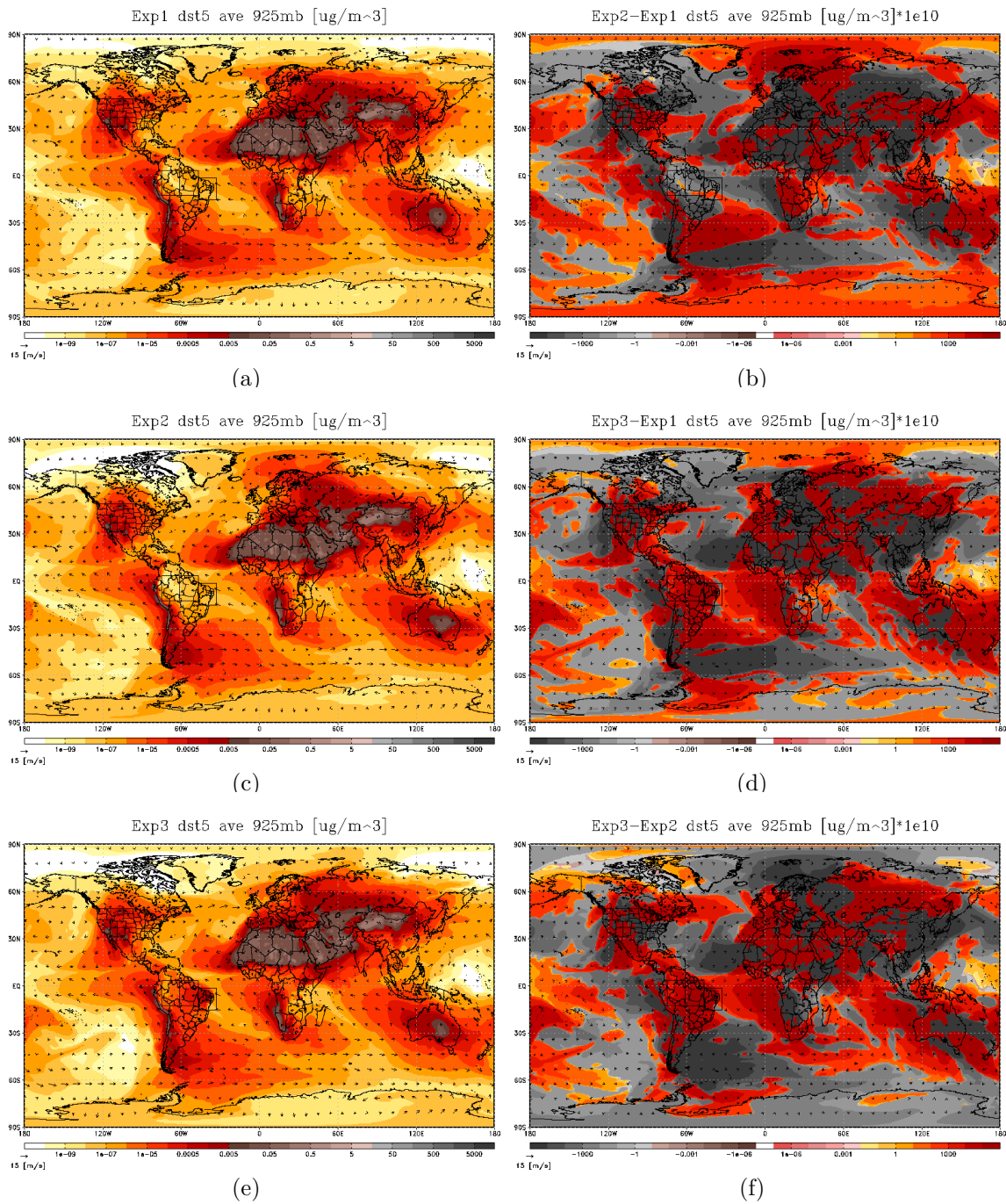


Figura 4.30 - Transporte da poeira na atmosfera em 925mb: *bin 5*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

As Figuras 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35 e 4.36 mostram os conteúdos de poeira transportado no nível de pressão de 500 *mb*. Neste nível, os conteúdos de poeira transportados possuem padrões semelhantes aos encontrados nos níveis de 925*mb*, porém eles são menos intensos e abrangem uma área maior. Isto mostra que a suspensão das partículas de poeira ocorrem sobre as regiões fontes devidos aos processos turbulentos e convectivos, e a dispersão das plumas de poeira ao longo das correntes de vento é devido a advecção. Por conseguinte, os máximos se tornam menos intensos quando comparados com os núcleos encontrados no nível de 925*mb*, com exceção do núcleo

intenso sobre a China que ocorre devido as altas elevações em que este deserto se localiza. Nestes experimentos, os mínimos dos conteúdos de poeira estão localizados sobre os polos sul e norte, e também sobre o Pacífico Equatorial.

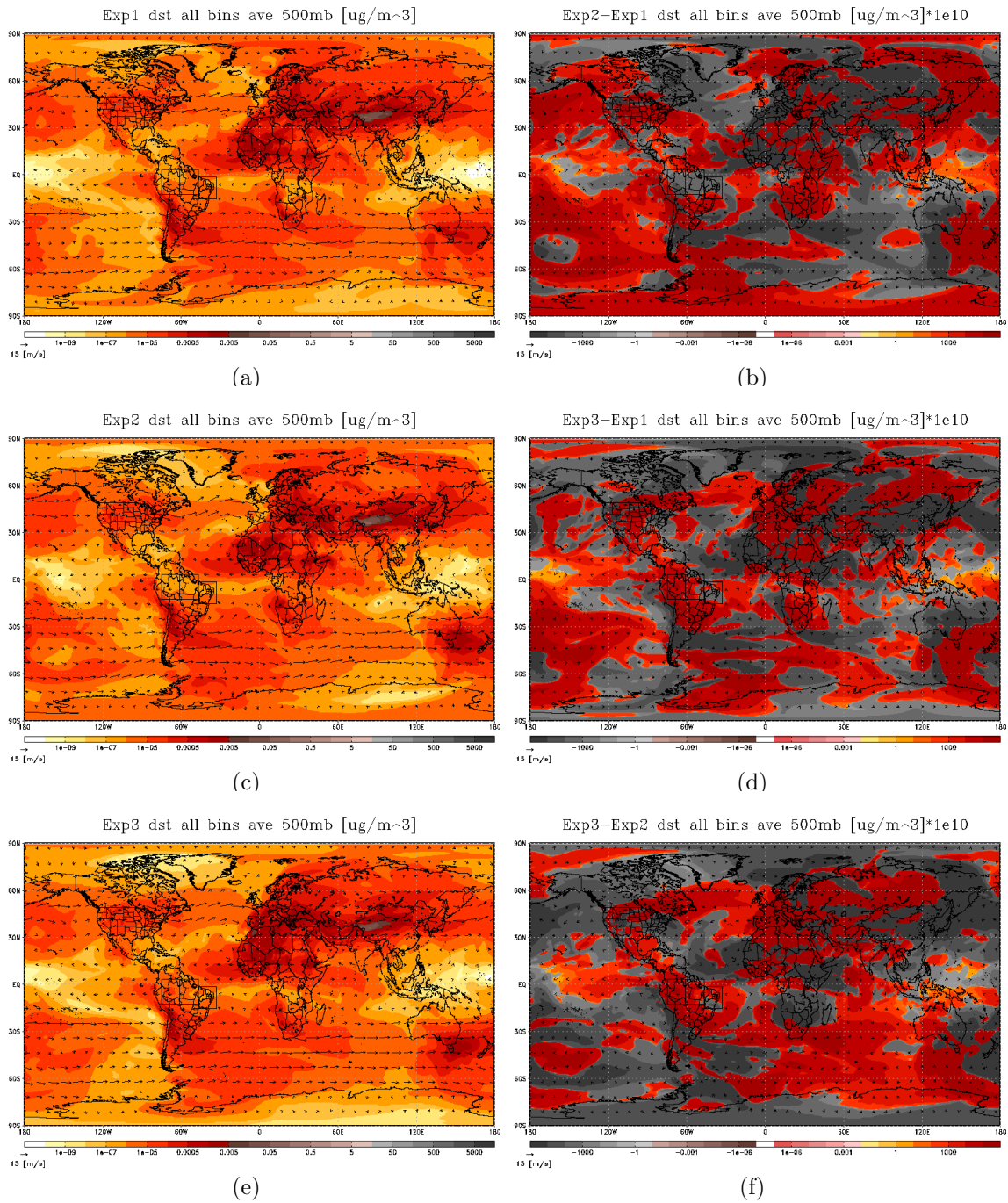


Figura 4.31 - Transporte da poeira na atmosfera em 500mb: *All bins*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

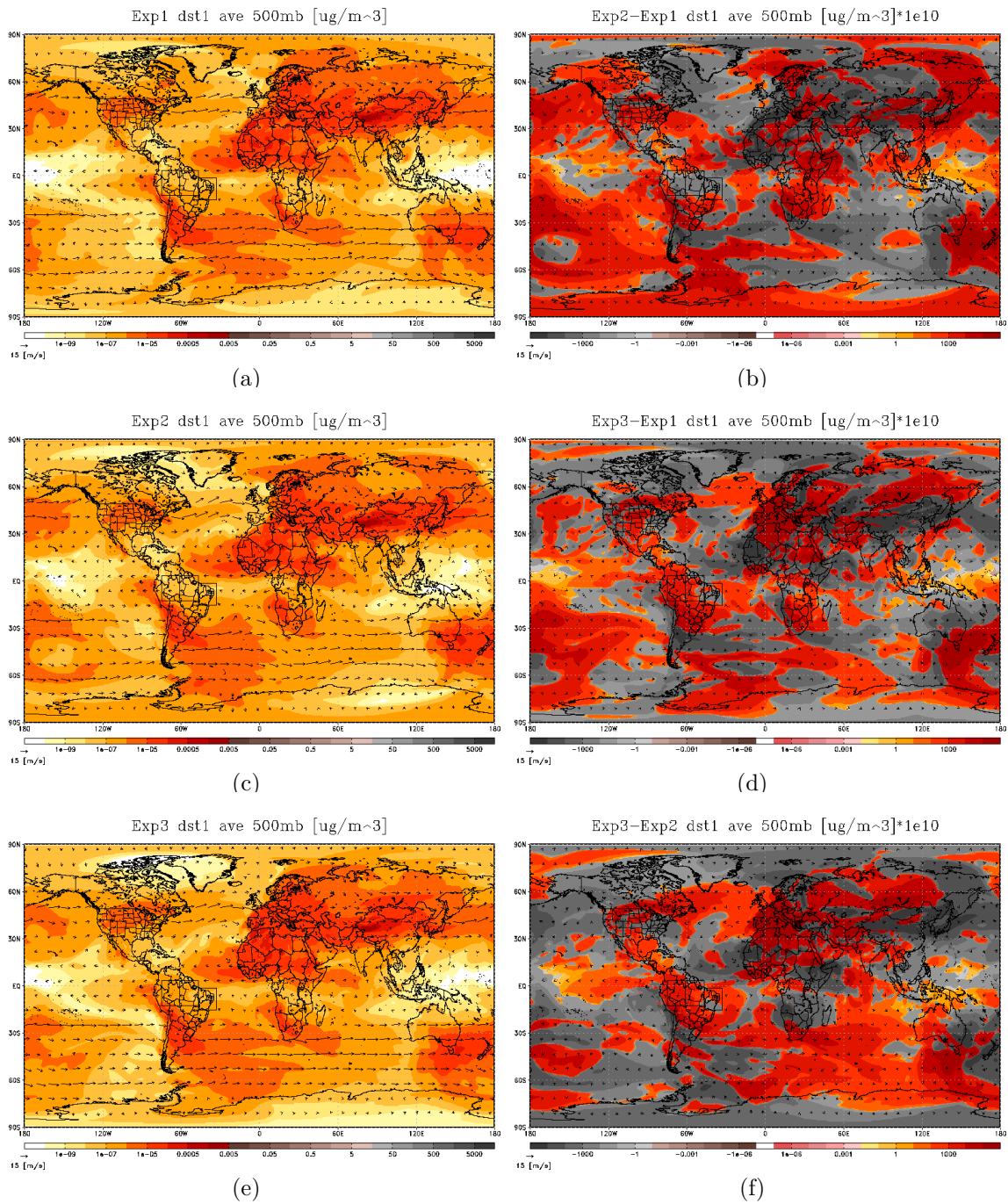


Figura 4.32 - Transporte da poeira na atmosfera em 500mb: *bin 1*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

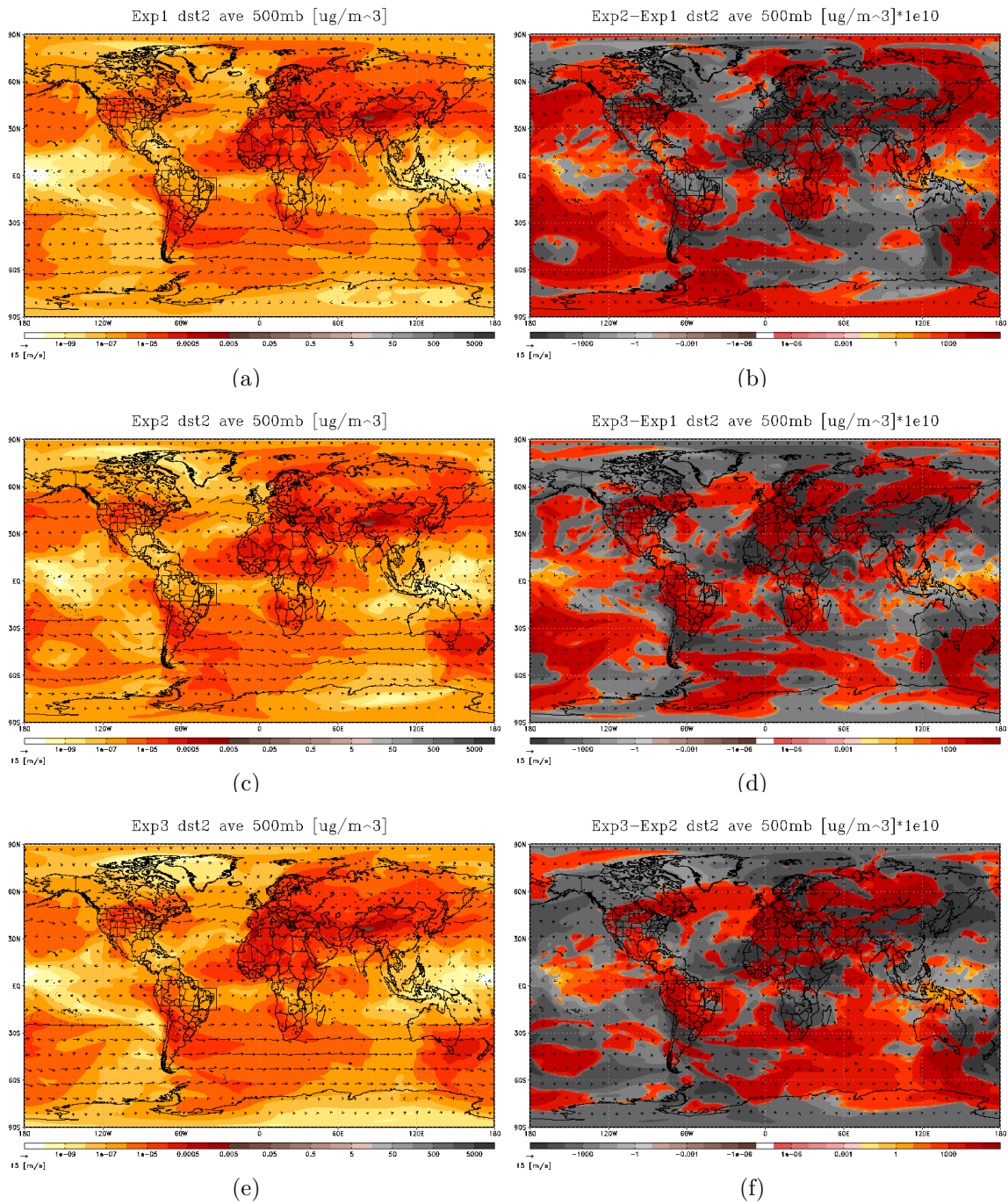


Figura 4.33 - Transporte da poeira na atmosfera em 500mb: *bin 2*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

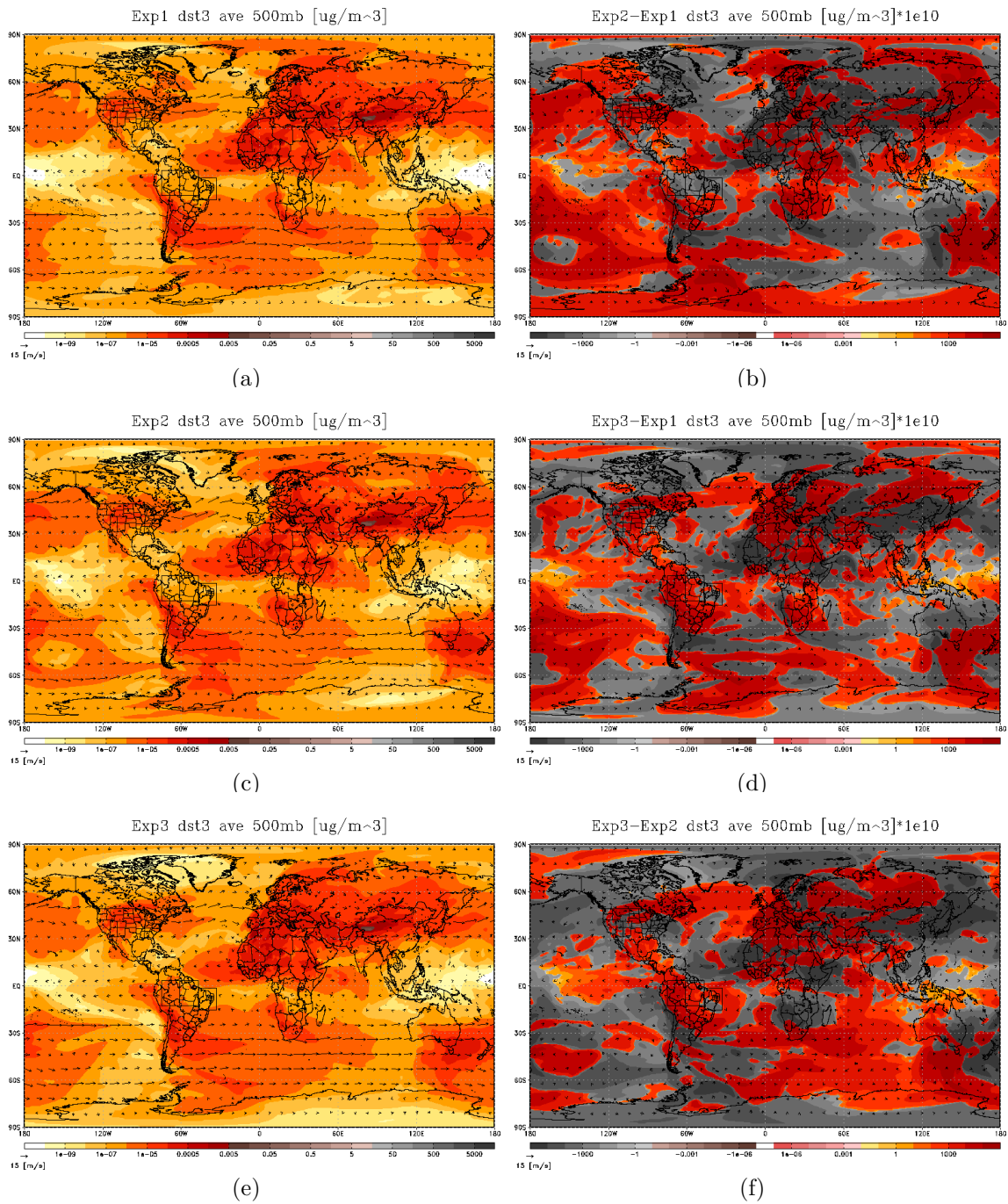


Figura 4.34 - Transporte da poeira na atmosfera em 500mb: *bin 3*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

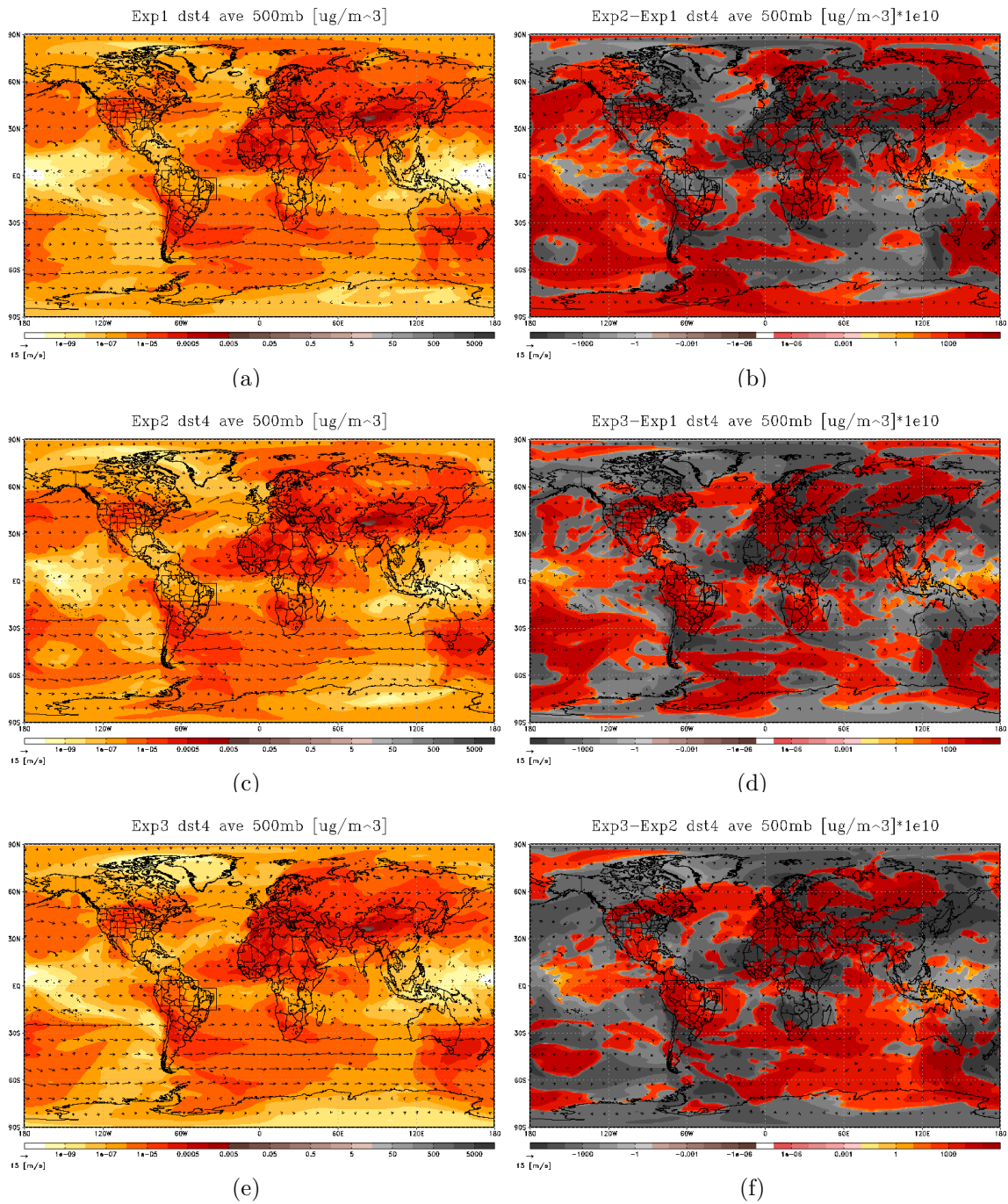


Figura 4.35 - Transporte da poeira na atmosfera em 500mb: *bin 4*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

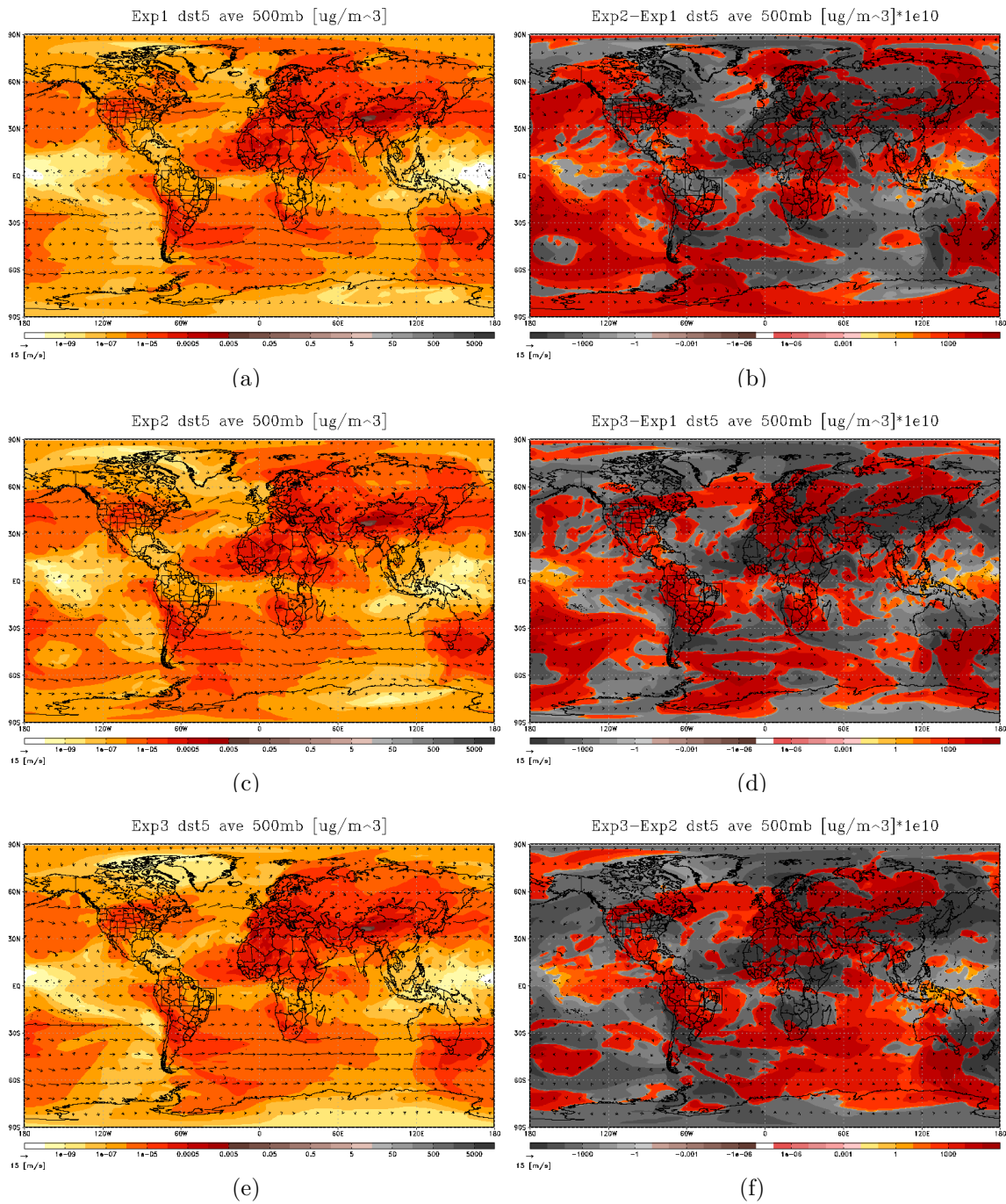


Figura 4.36 - Transporte da poeira na atmosfera em 500mb: *bin 5*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

As Figuras 4.37, 4.38, 4.39, 4.40, 4.41 e 4.42 mostram os transportes de poeira no nível de 200 mb. Os conteúdos de poeira transportados neste nível apresentam máximos alongados nas regiões de ventos fortes (correntes de jato), e origens sobre as regiões fontes. Isto indica que estes máximos estão associados aos fortes movimentos convectivos que ocorrem nestas regiões fontes. Os mínimos do conteúdo de poeira são encontrados sobre os polos norte e sul, e também sobre o Pacífico Equatorial, com o mínimo estendido sobre a Austrália.

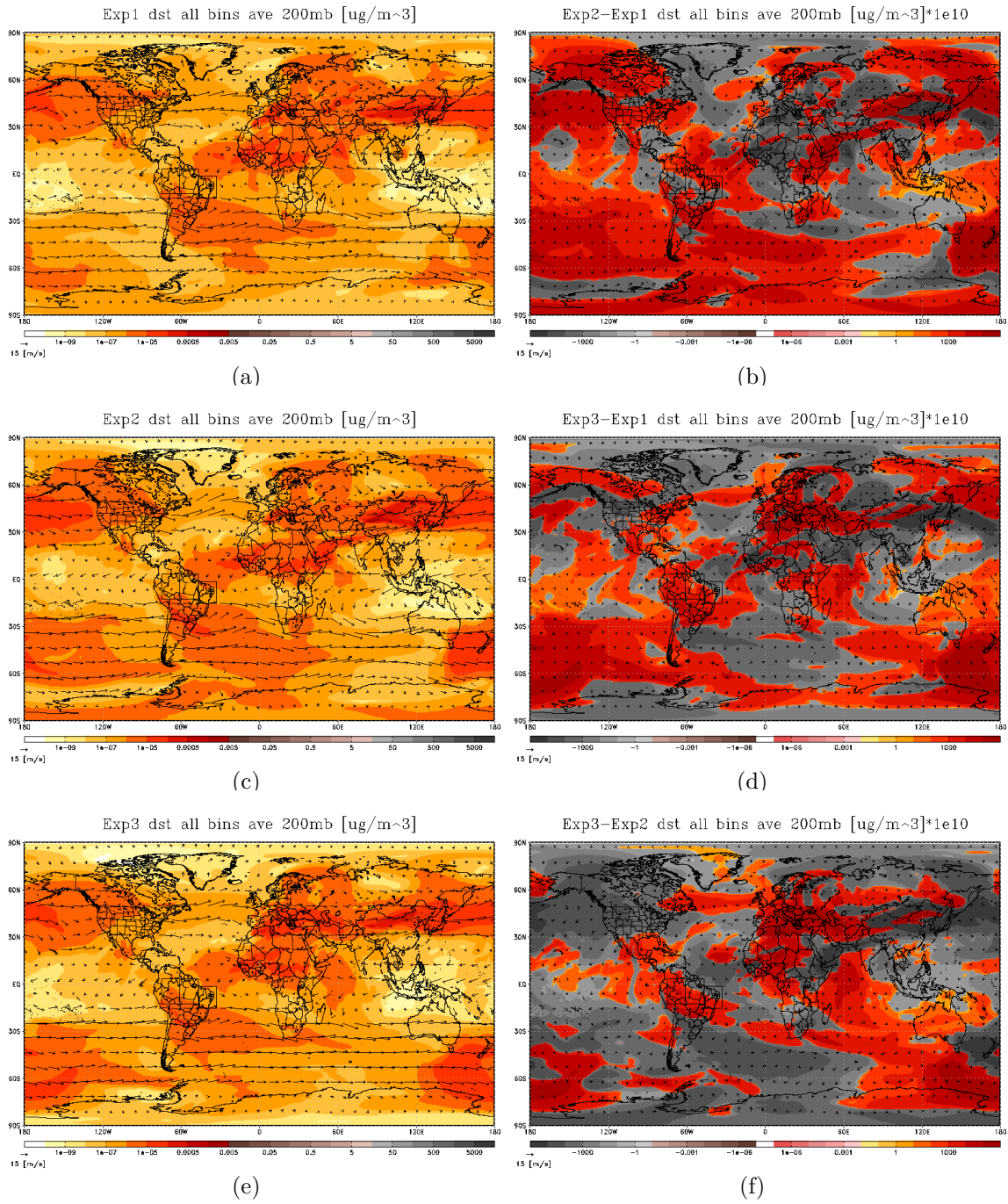


Figura 4.37 - Transporte da poeira na atmosfera em 200mb: *All bins*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

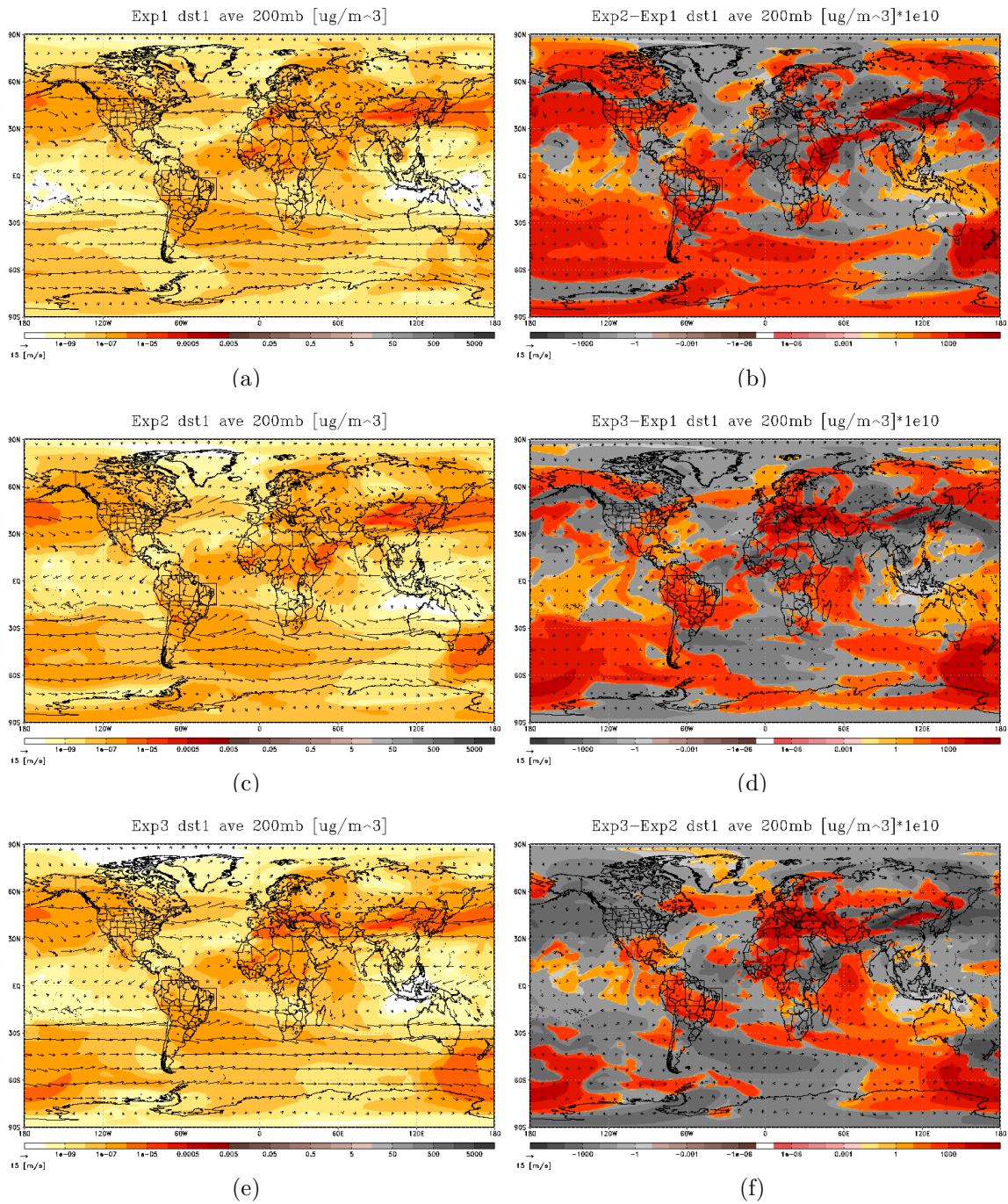


Figura 4.38 - Transporte da poeira na atmosfera em 200mb: *bin 1*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1*, (f) *Exp3* – *Exp2*.

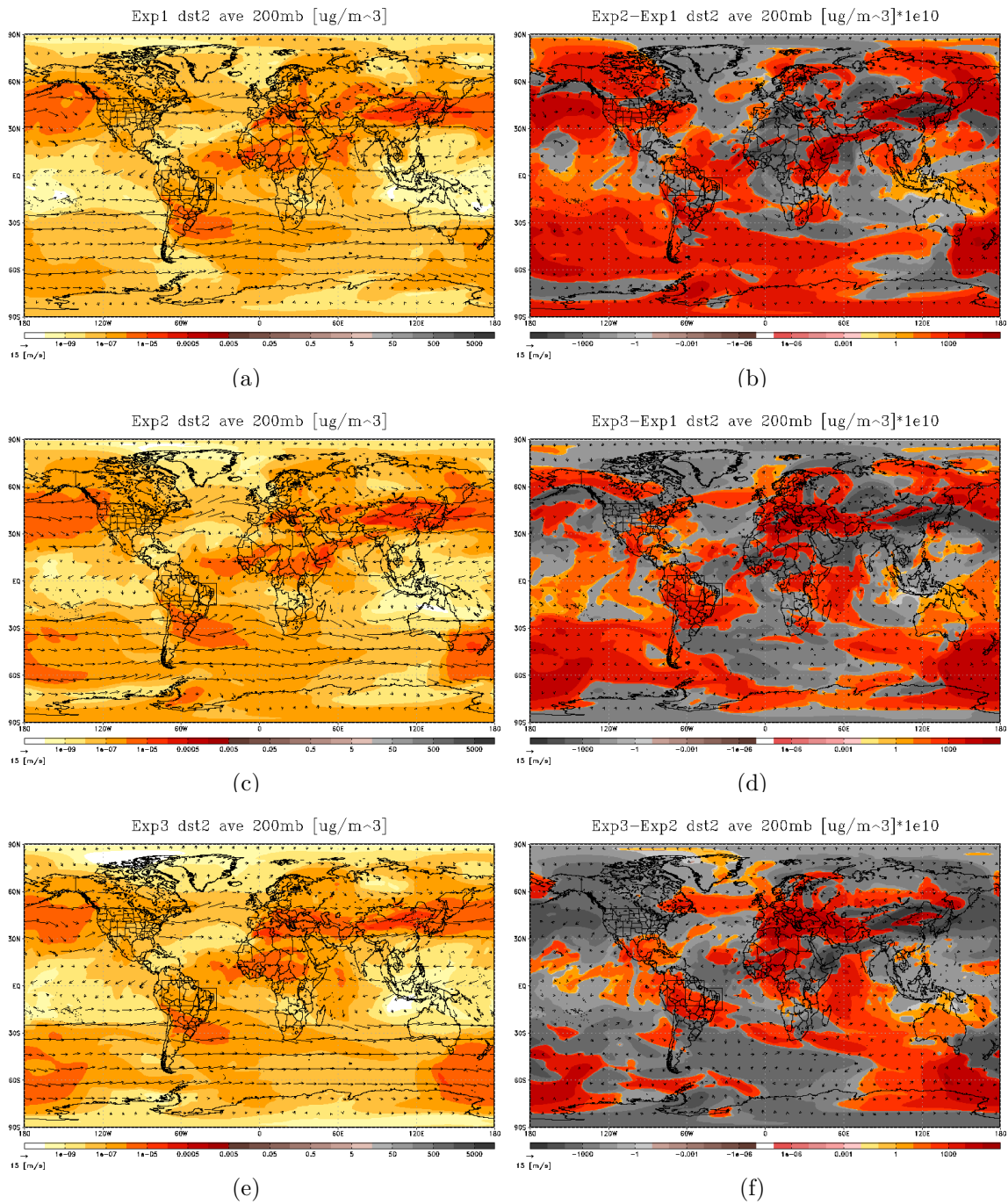


Figura 4.39 - Transporte da poeira na atmosfera em 200mb: *bin 2*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

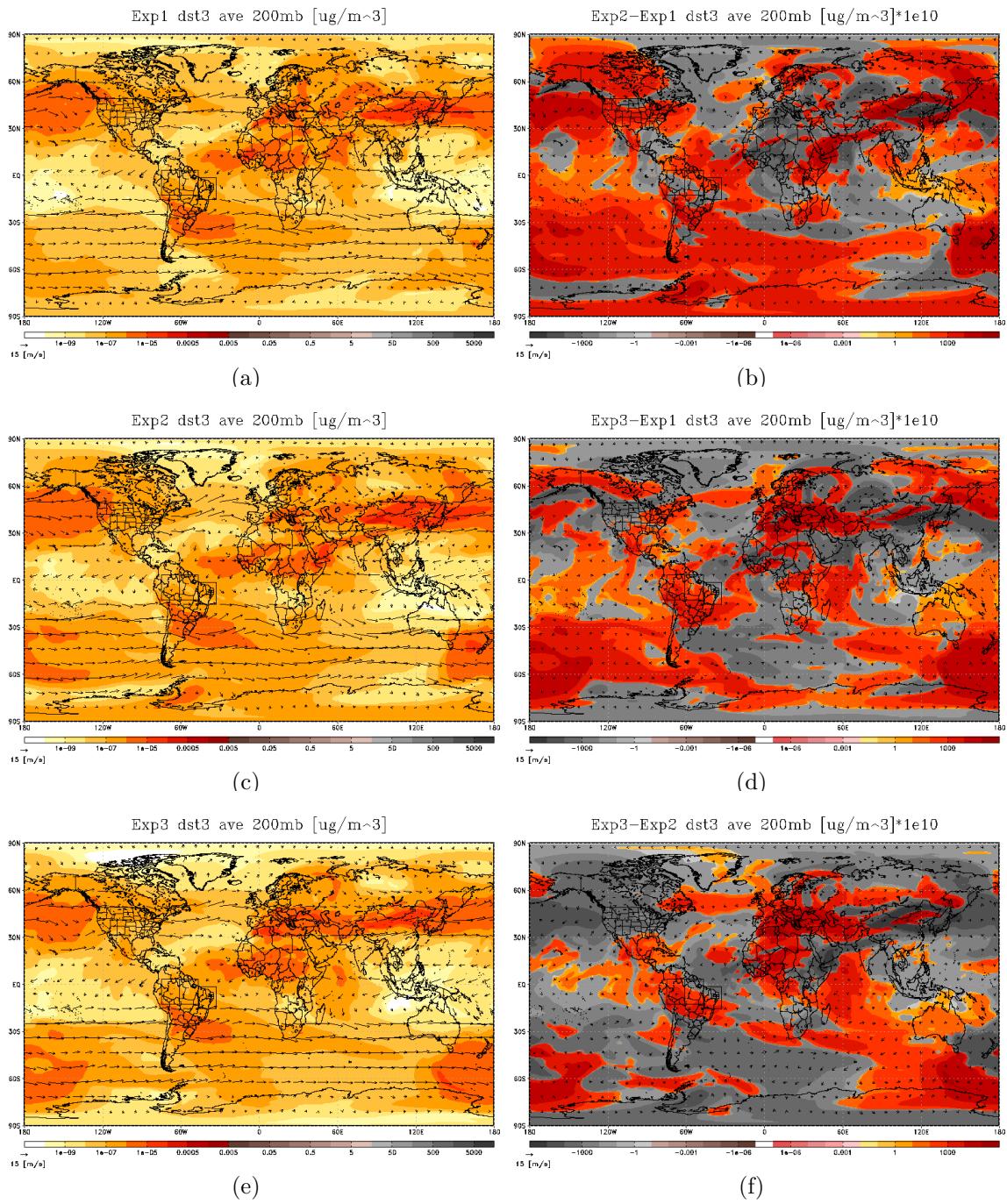


Figura 4.40 - Transporte da poeira na atmosfera em 200mb: *bin 3*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

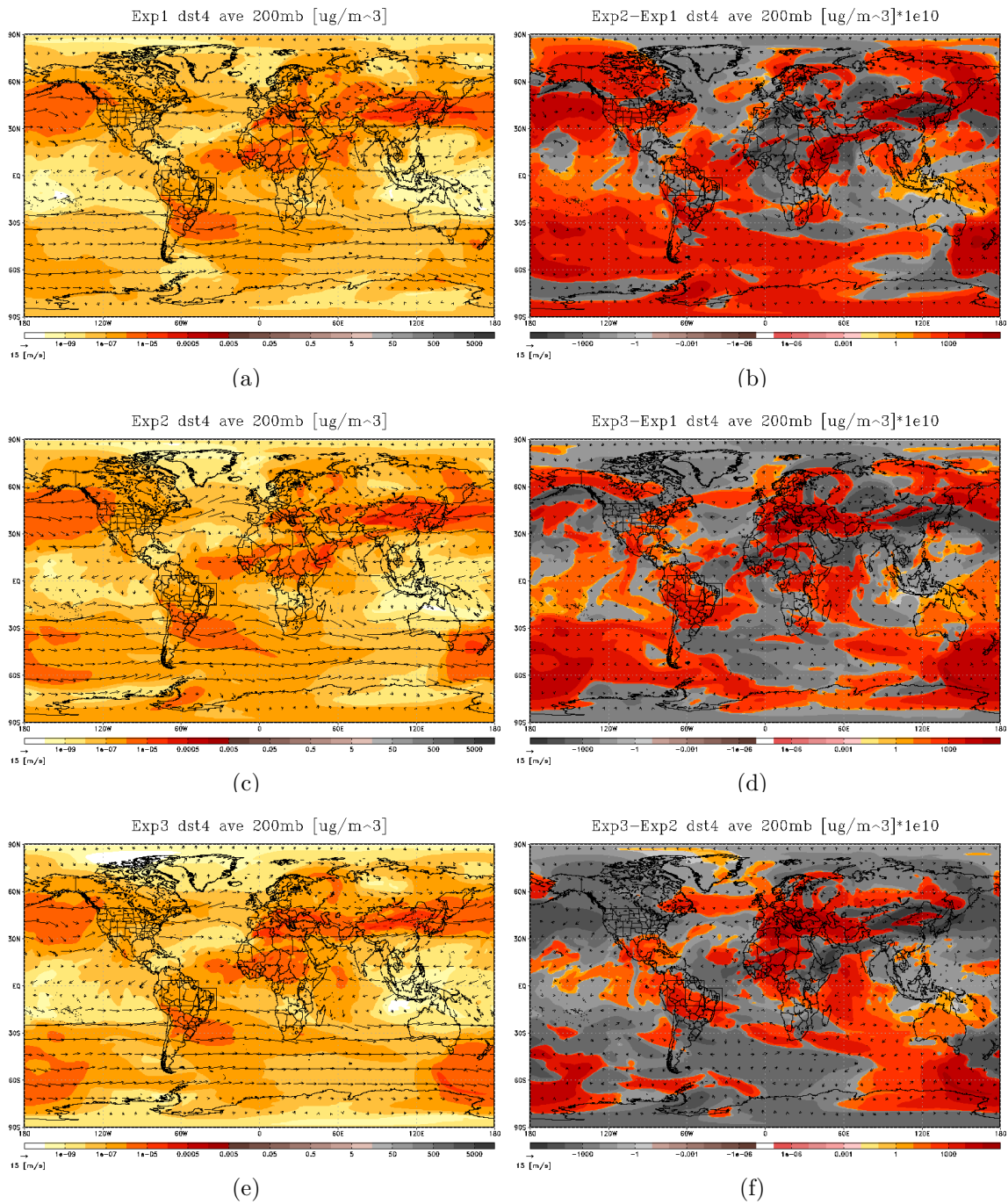


Figura 4.41 - Transporte da poeira na atmosfera em 200mb: *bin 4*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

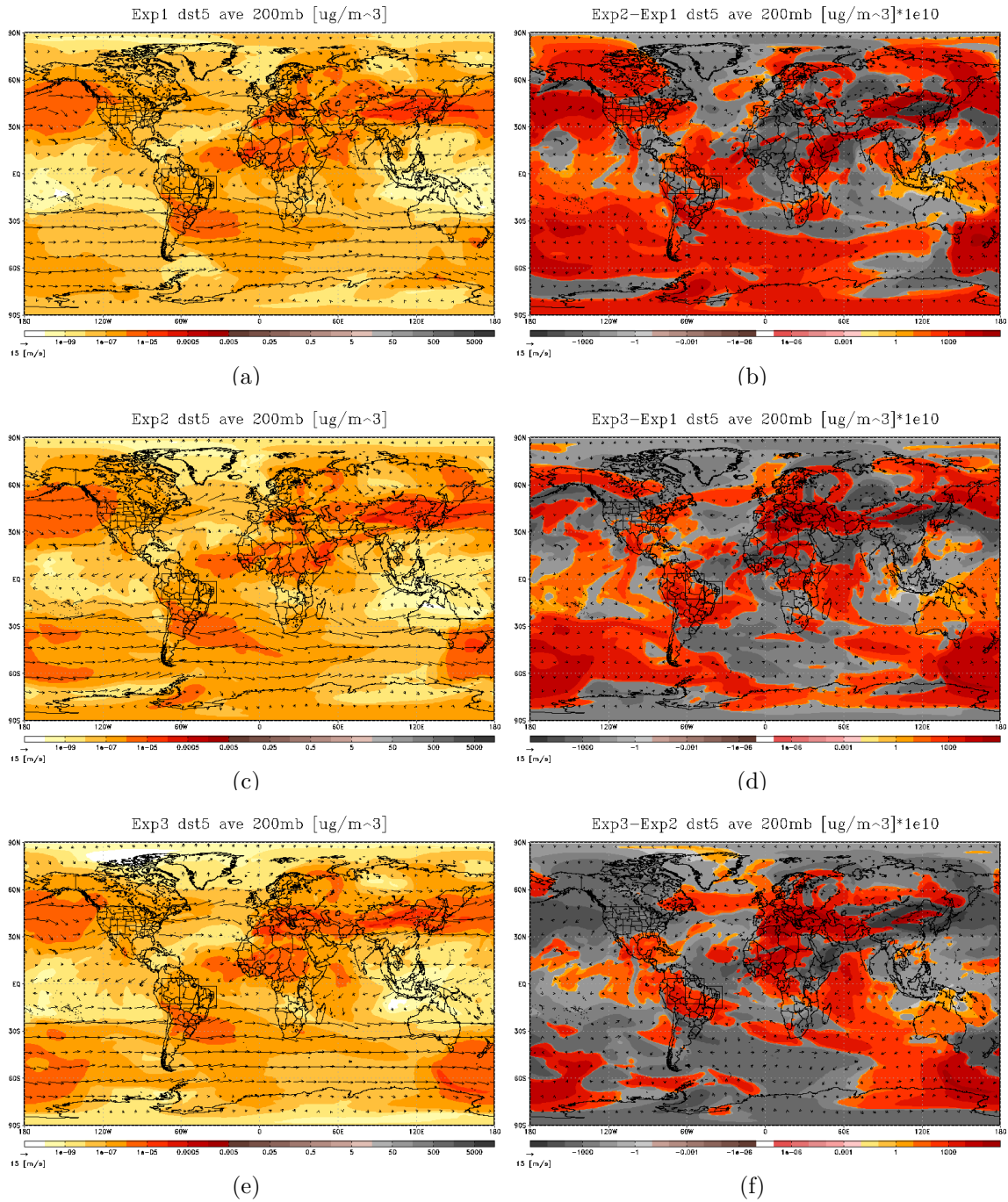


Figura 4.42 - Transporte da poeira na atmosfera em 200mb: *bin 5*. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1*, (f) *Exp3* – *Exp2*.

Analisando os conteúdos de poeira médios entre estes níveis de pressão, a maior fração do conteúdo de poeira ocorre entre os níveis de pressão de 925mb a 500mb, inclusive. Isto mostra que o transporte da poeira ocorre nos baixos e médios níveis, e os padrões de transportes das partículas de poeira acompanham as correntes de vento (concordando com a Figura 2.8).

Na região da Caatinga (*Exp3*), as partículas emitidas são transportadas preferencialmente nos baixos níveis e em direção da Amazônia Oriental e o para o Brasil Central.

Sob o ponto de vista das interações entre a poeira e as radiações, os mínimos dos conteúdos de poeira na atmosfera encontrados sobre o oceano Pacífico Equatorial e sobre os polos, simultaneamente nos 3 níveis de pressão, indicam que nestas regiões existe uma maior incidência radiação solar na superfície em comparação com as outras regiões onde o conteúdo de poeira na atmosfera é maior. Em contrapartida, nas regiões dos máximos dos conteúdos de poeira, espera-se um aumento do albedo atmosférico, e conseqüentemente um aumento das reflexões das radiações solares para o espaço. Desta forma, estes máximos e mínimos dos conteúdos de poeira proporcionam alterações nas temperaturas das superfícies, e conseqüentemente nos fluxos de calor da superfície.

As diferenças entre as simulações mostram padrões de áreas positivas e negativas. As áreas negativas indicam a diminuição do transporte dos experimentos acoplados em relação ao controle, e as áreas positivas indicam um aumento do transporte da poeira devido as mudanças nos comportamentos dos sistemas meteorológicos que ocorreram por causa das realimentações promovidos pelas interações entre a poeira e as radiações solares e terrestres.

A Tabela 4.6 mostra os conteúdos de poeira dentro das áreas de análises: Globo (*Glb*), Caatinga (*Ctg*) e Amazônia (Oriental-*Am1* e Ocidental-*Am2*). Os valores correspondem as soma dos conteúdos de poeira médios dentro das áreas selecionadas, e entre os níveis de pressão de 925mb até 200mb. As análises destes valores integrados nas áreas e nas colunas atmosféricas mostram que o acoplamento entre a poeira e as radiações tendem a diminuir o conteúdo transportado na atmosfera (veja os valores *Glb* de *Exp2* – *Exp1*). Isto não ocorre em *Exp3* – *Exp1* devido a adição da novas fontes de poeira na Caatinga. Deve-se levar em conta também que no experimento *Exp1*, as radiações interagem com os perfis climatológicos da poeira, e nos experimentos *Exp2* e *Exp3* os perfis climatológicos foram substituídos pelos valores calculados pelo *CCATT*.

Tabela 4.6 - Transporte de poeira na atmosfera por área e por classe. Os valores correspondem a soma das médias entre os níveis de 925 a 200mb, para as áreas de análises. Valores em $\mu\text{g}/\text{cm}^3$.

Conteúdo		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2</i> – <i>Exp1</i>	<i>Exp3</i> – <i>Exp1</i>	<i>Exp3</i> – <i>Exp2</i>
<i>dst</i>	<i>Glb</i>	6.70181E+02	6.54664E+02	6.99614E+02	-1.55175E+01	2.94328E+01	4.49503E+01
	<i>Ctg</i>	6.00311E-03	4.23374E-03	7.12061E-01	-1.76937E-03	7.06058E-01	7.07827E-01
	<i>Am1</i>	3.14371E-03	2.17167E-03	4.82279E-01	-9.72040E-04	4.79135E-01	4.80107E-01
	<i>Am2</i>	6.99801E-03	6.84707E-03	5.73152E-02	-1.50948E-04	5.03171E-02	5.04681E-02
<i>dst 1</i>	<i>Glb</i>	4.01261E+01	3.92831E+01	4.23045E+01	-8.43029E-01	2.17835E+00	3.02138E+00
	<i>Ctg</i>	3.10728E-04	2.27835E-04	4.67668E-02	-8.28923E-05	4.64561E-02	4.65390E-02
	<i>Am1</i>	1.69343E-04	1.24523E-04	3.15341E-02	-4.48201E-05	3.13648E-02	3.14096E-02
	<i>Am2</i>	4.61787E-04	4.53384E-04	3.69259E-03	-8.40350E-06	3.23081E-03	3.23921E-03
<i>dst 2</i>	<i>Glb</i>	1.33682E+02	1.30634E+02	1.39900E+02	-3.04735E+00	6.21852E+00	9.26587E+00
	<i>Ctg</i>	1.14733E-03	8.18032E-04	1.46468E-01	-3.29294E-04	1.45321E-01	1.45650E-01
	<i>Am1</i>	6.06978E-04	4.26507E-04	9.89004E-02	-1.80471E-04	9.82935E-02	9.84739E-02
	<i>Am2</i>	1.42759E-03	1.39764E-03	1.16759E-02	-2.99502E-05	1.02483E-02	1.02783E-02
<i>dst 3</i>	<i>Glb</i>	1.51787E+02	1.48247E+02	1.58439E+02	-3.53943E+00	6.65276E+00	1.01922E+01
	<i>Ctg</i>	1.35346E-03	9.55280E-04	1.62241E-01	-3.98179E-04	1.60887E-01	1.61285E-01
	<i>Am1</i>	7.09013E-04	4.89821E-04	1.09576E-01	-2.19192E-04	1.08867E-01	1.09086E-01
	<i>Am2</i>	1.57636E-03	1.54282E-03	1.29762E-02	-3.35447E-05	1.13998E-02	1.14333E-02
<i>dst 4</i>	<i>Glb</i>	1.66519E+02	1.62605E+02	1.73541E+02	-3.91351E+00	7.02238E+00	1.09359E+01
	<i>Ctg</i>	1.52455E-03	1.06897E-03	1.74398E-01	-4.55572E-04	1.72874E-01	1.73329E-01
	<i>Am1</i>	7.93808E-04	5.42725E-04	1.18047E-01	-2.51084E-04	1.17253E-01	1.17504E-01
	<i>Am2</i>	1.70507E-03	1.66789E-03	1.40432E-02	-3.71751E-05	1.23381E-02	1.23753E-02
<i>dst 5</i>	<i>Glb</i>	1.78068E+02	1.73894E+02	1.85429E+02	-4.17421E+00	7.36076E+00	1.15350E+01
	<i>Ctg</i>	1.66705E-03	1.16362E-03	1.82187E-01	-5.03430E-04	1.80520E-01	1.81023E-01
	<i>Am1</i>	8.64567E-04	5.88094E-04	1.24220E-01	-2.76473E-04	1.23356E-01	1.23632E-01
	<i>Am2</i>	1.82720E-03	1.78533E-03	1.49273E-02	-4.18735E-05	1.31001E-02	1.31419E-02

No *Exp1* e *Exp2*, os valores dos conteúdos de poeira da Caatinga e da Amazônia indicam que os transportes sobre estas regiões são provenientes de fontes remotas, como os desertos do Saara e dos Andes. Com a inclusão da Caatinga no *Exp3*, os valores das plumas de poeira transportadas sobre estas regiões se intensificaram.

4.1.5.1 – Perfis zonais e meridionais do transporte da poeira.

As distribuições verticais dos conteúdos médios da poeira transportadas são analisadas através dos perfis zonais e meridionais para a classe de partículas agrupadas *all bins*. As regiões escolhidas foram: Cabo Verde e Alta Floresta. Os perfis sobre Cabo Verde buscam representar os transportes de poeira provenientes do deserto do Saara, enquanto que os perfis sobre Alta Floresta são utilizados para analisar os transportes de poeira sobre a Amazônia de fontes remotas e regionais.

As Figuras 4.43 mostram os perfis zonais e meridionais dos conteúdos médios de poeira transportada sobre a região de Cabo Verde. Os transportes zonais dos conteúdos de poeira médios são provenientes do Saara em direção ao oceano Atlântico, e se estendem por quase toda a coluna atmosférica, desde a superfície até próximo ao topo da atmosfera. Os núcleos são profundos e intensos, podendo alcançar o nível de 500mb , e apresentam um rápido decaimento vertical ao longo do percurso. Os transportes meridionais dos conteúdos de poeira médios também se estendem desde a superfície até os altos níveis, onde os núcleos intensos são rasos e largos. Sendo que a distribuição espacial destes perfis sugerem que eles se deslocam em direção ao equador.

As Figuras 4.44 mostram os perfis zonais e meridionais sobre a região de Alta Floresta. Nos experimentos *Exp1* e *Exp2*, os perfis zonais indicam que os transportes possuem baixas intensidades, e estão confinados nos médios níveis ($\sim 500\text{mb}$), indicando que esta poeira é proveniente de fontes remotas. Os perfis meridionais para este mesmos experimentos apresentam o transporte meridional com uma influência setentrional, possivelmente proveniente das fontes Andinas. Contudo, com a inclusão das emissões de poeira na Caatinga (*Exp3*), os padrões dos transportes são intensificado em ambas as direções, com maior intensidade na direção zonal em direção a Amazônia.

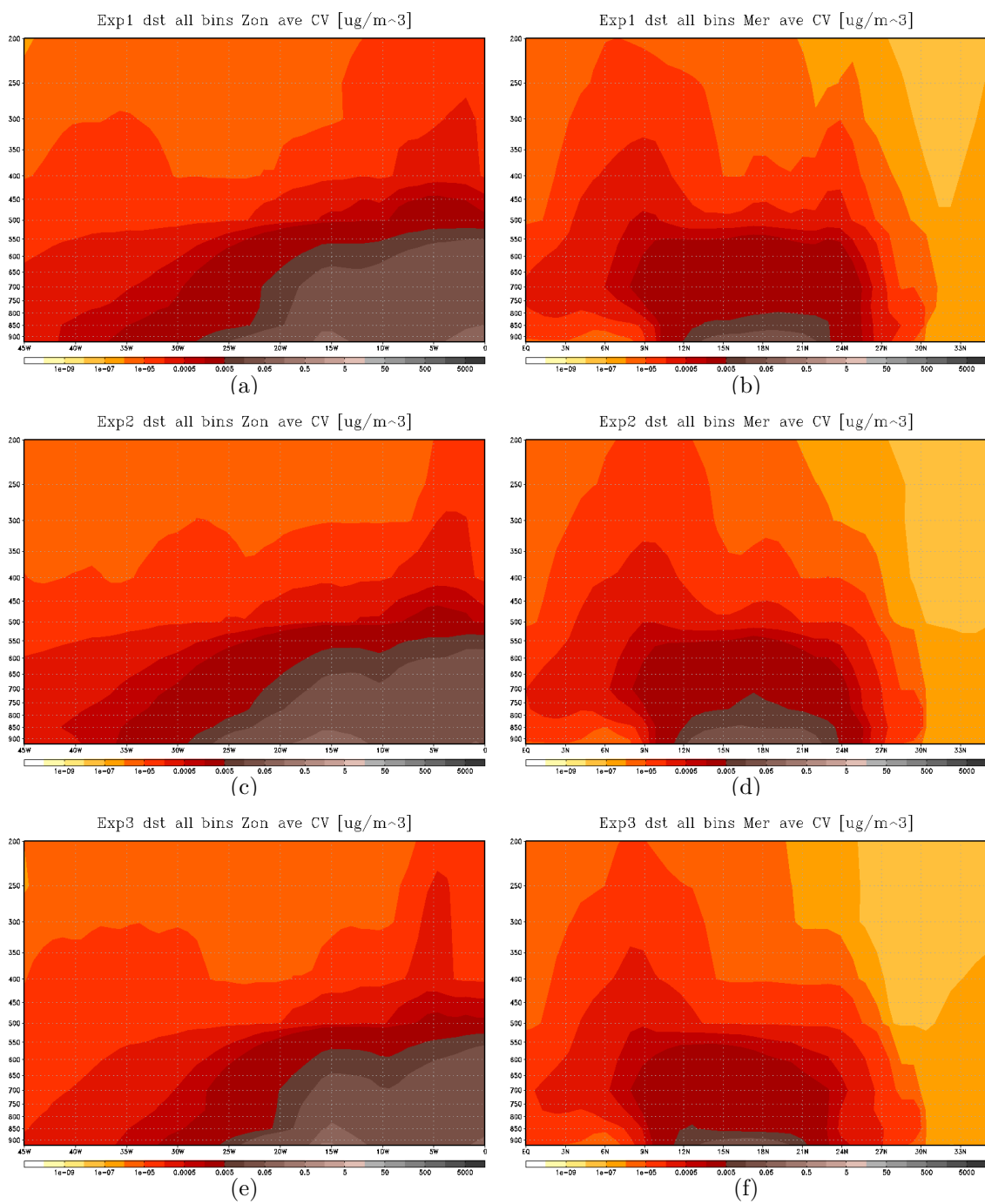


Figura 4.43 - Perfis zonais e meridionais do transporte em Cabo Verde: *All bins*. Zonal: (a), (c) e (e). Meridional: (b), (d) e (f). Lat: N16.7325, Lon: W22.9355.

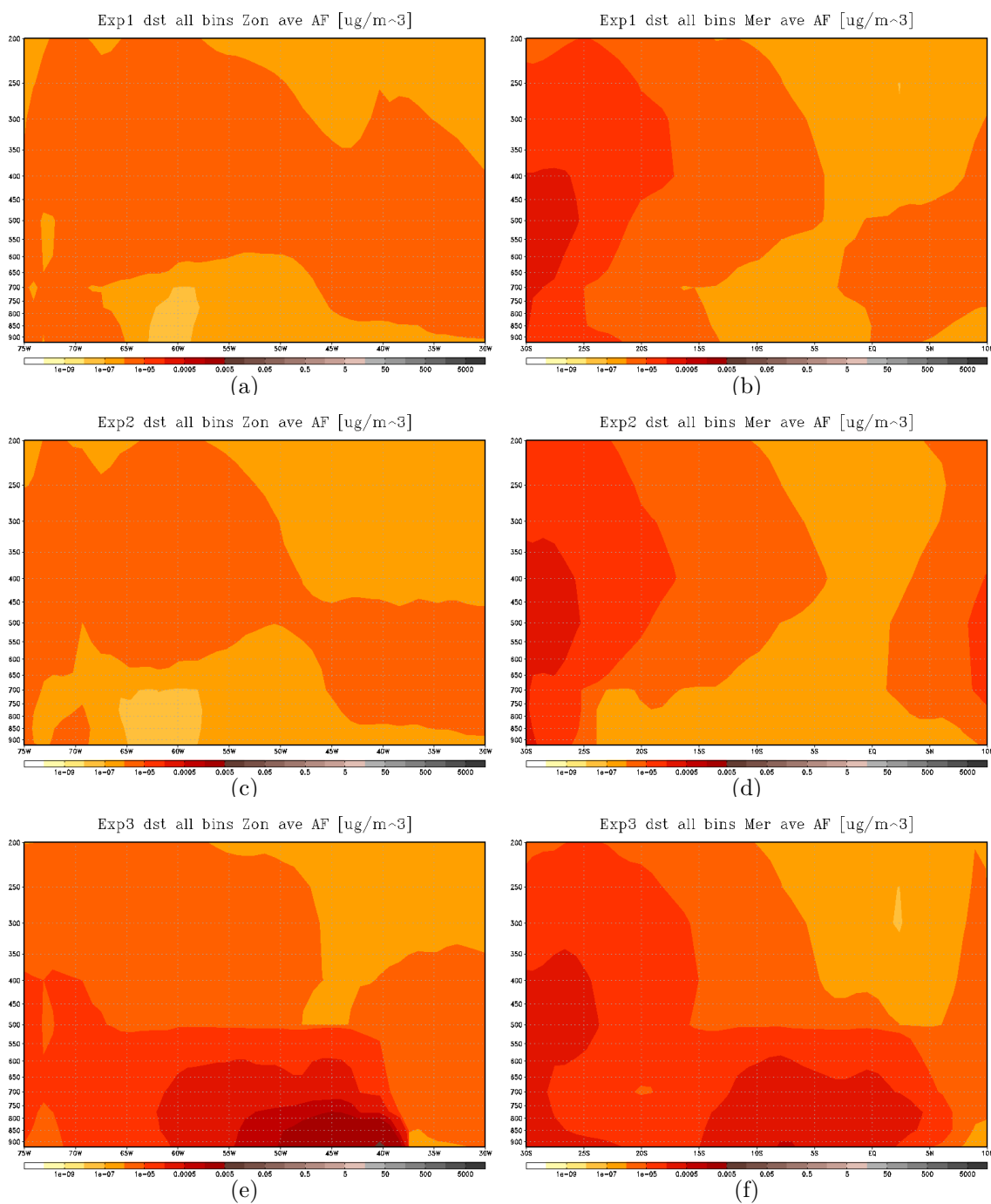


Figura 4.44 - Perfis zonais e meridionais do transporte em Alta Floresta: *All bins*. Zonal: (a), (c) e (e). Meridional: (b), (d) e (f). Lat: S9.8713, Lon: W56.1044.

4.1.5.2 – Análise temporal do transporte da poeira.

As distribuições temporais da poeira na atmosfera são analisadas através das séries temporais dos conteúdos de poeira transportados sobre as localidades de Cabo Verde e Alta Floresta. O período das análises é de 0Z de 23 de setembro até 23Z de 13 de outubro de 2010, com intervalo de 1 hora. As Figuras 4.45 e 4.46 mostram as evoluções temporais dos conteúdos de poeira transportados *all*

bins sobre a localidade Cabo Verde e Alta Floresta para os experimentos *Exp1*, *Exp2* e *Exp3*, e também as diferenças entre estes experimentos.

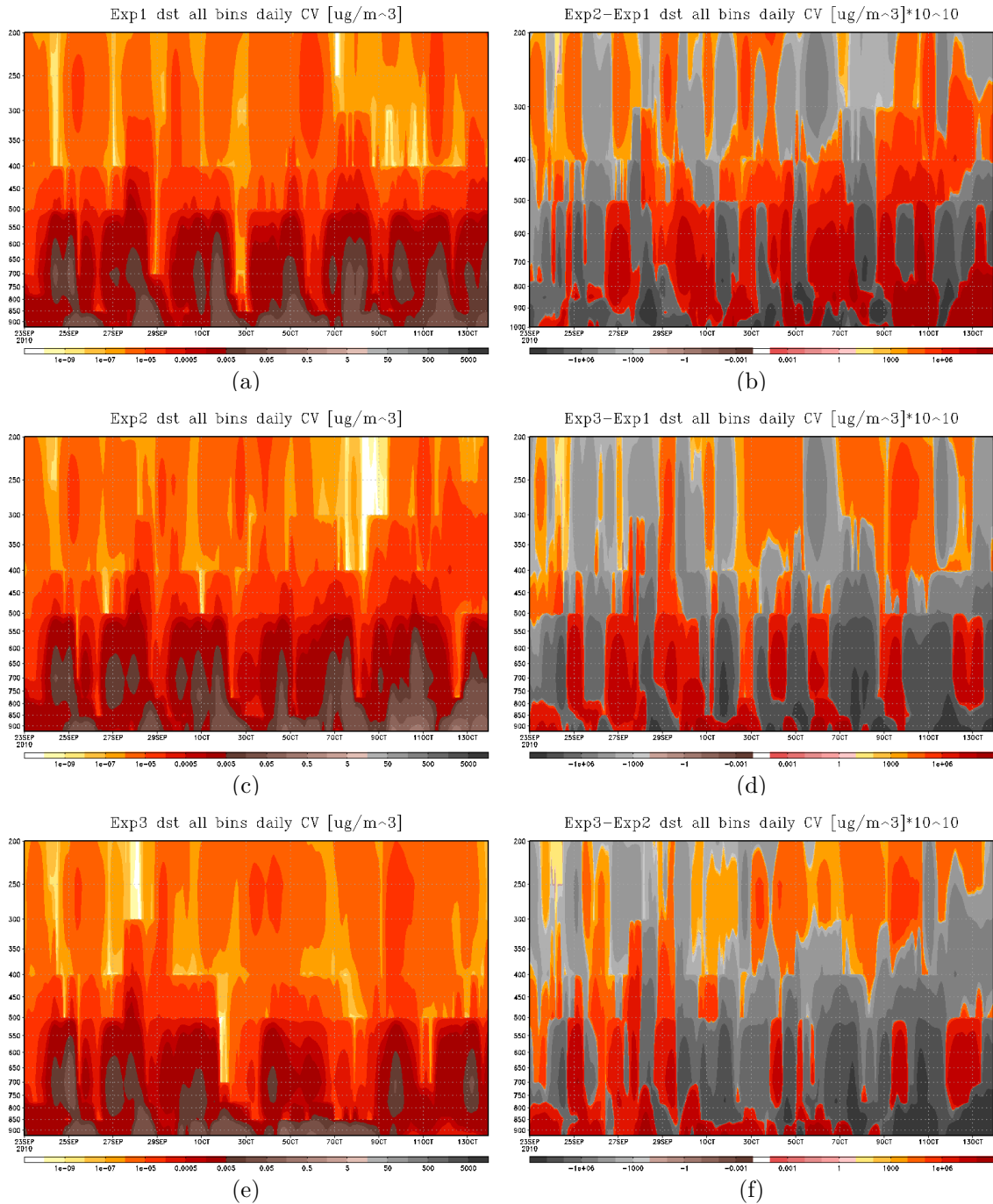


Figura 4.45 - Evolução temporal do transporte da poeira: Cabo Verde. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2* e (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1* e (f) *Exp3* – *Exp2*. Lat: N16.7325, Lon: W22.9355.

Os conteúdos de poeira transportados sobre a localidade de Cabo Verde durante o período efetivo são analisados através dos deslocamentos dos núcleos intensos das plumas de poeira. A partir de agora, cada núcleo intenso que se deslocou sobre Cabo Verde será considerado como um evento de

poeira. A Tabela 4.7 mostra os eventos de poeira ocorridos durante o período efetivo das simulações. As classificações destes eventos ocorreram visualmente e de maneira subjetiva.

Tabela 4.7 - Eventos de poeira ocorridos em Cabo Verde.

evento	referência	início	término	intervalo	duração	formato	
<i>Exp1</i>	1	25/09/2010	24/09/2010	26/09/2010		3 dias	profundo, inclinado a esquerda
	2	29/09/2010	28/09/2010	29/09/2010	4 dias	2 dias	profundo, inclinado a esquerda
	3	02/10/2010	01/10/2010	03/10/2010	3 dias	3 dias	profundo, inclinado a esquerda
	4	05/10/2010	04/10/2010	06/10/2010	3 dias	3 dias	profundo, triangular
	5	08/10/2010	08/10/2010	09/10/2010	3 dias	2 dias	profundo, cilíndrico
	6	12/10/2010	10/10/2010	13/10/2010	4 dias	4 dias	profundo, inclinado a esquerda
<i>Exp2</i>	1	25/09/2010	24/09/2010	26/09/2010		3 dias	profundo, inclinado a esquerda
	2	28/09/2010	27/09/2010	29/09/2010	3 dias	3 dias	profundo, inclinado a esquerda
	3	02/10/2010	30/09/2010	03/10/2010	4 dias	4 dias	profundo, inclinado a esquerda
	4	05/10/2010	04/10/2010	06/10/2010	3 dias	3 dias	profundo, triangular
	5	08/10/2010	07/10/2010	09/10/2010	3 dias	3 dias	profundo, triangular
	6	11/10/2010	09/10/2010	12/10/2010	3 dias	4 dias	profundo, inclinado a direita
<i>Exp3</i>	1	25/09/2010	24/09/2010	26/09/2010		3 dias	profundo, inclinado a esquerda
	2	28/09/2010	27/09/2010	29/09/2010	3 dias	3 dias	profundo, inclinado a esquerda
	3	02/10/2010	30/09/2010	03/10/2010	4 dias	4 dias	profundo, inclinado a esquerda
	4	05/10/2010	04/10/2010	09/10/2010	3 dias	5 dias	profundo, inclinado a esquerda
	5	10/10/2010	09/10/2010	11/10/2010	2 dias	3 dias	profundo, cilíndrico
	6	13/10/2010	12/10/2010	14/10/2010	3 dias	3 dias	profundo, cilíndrico

As frequências de ocorrências dos eventos de poeira e os períodos dos deslocamentos sobre Cabo Verde são muitos similares entre os experimentos *Exp1*, *Exp2* e *Exp3*. As diferenças residem nos formas destes eventos de poeira, principalmente no *Exp3*. As frequências e os períodos estão relacionados a escala de tempo dos sistemas meteorológicos que estão atuando nos transportes da poeira, enquanto que os formatos destes eventos estão relacionados com as distribuições verticais das plumas de poeira ao se deslocaram sobre Cabo Verde.

As Figura 4.46 mostram as séries temporais dos conteúdos de poeira transportados *all bins* sobre Alta Floresta durante o período efetivo dos experimentos *Exp1*, *Exp2* e *Exp3*, e também as diferenças das séries temporais entre os experimentos. As evoluções temporais mostram que os transportes de poeira possuem baixa intensidade próximos da superfície e dos baixos níveis, enquanto que eles possuem média intensidade dentro dos médios e altos níveis. Estas plumas de poeira estão dispersos dentro destas camadas e perduram por longos períodos. Isto indica que estes conteúdos de poeira transportados são provenientes de fontes remotas.

Com a inclusão das fontes de emissões de poeira na Caatinga, os perfis dos conteúdos de poeira transportados sobre Alta Floresta se modificaram. Abaixo do nível de 500mb os perfis se intensificaram e passaram a apresentar as oscilações nas intensidades devido ao ciclo diurno de emissões de poeira da Caatinga. Acima deste nível, o padrão de transporte da poeira devido às fontes remotas se mantiveram com poucas alterações.

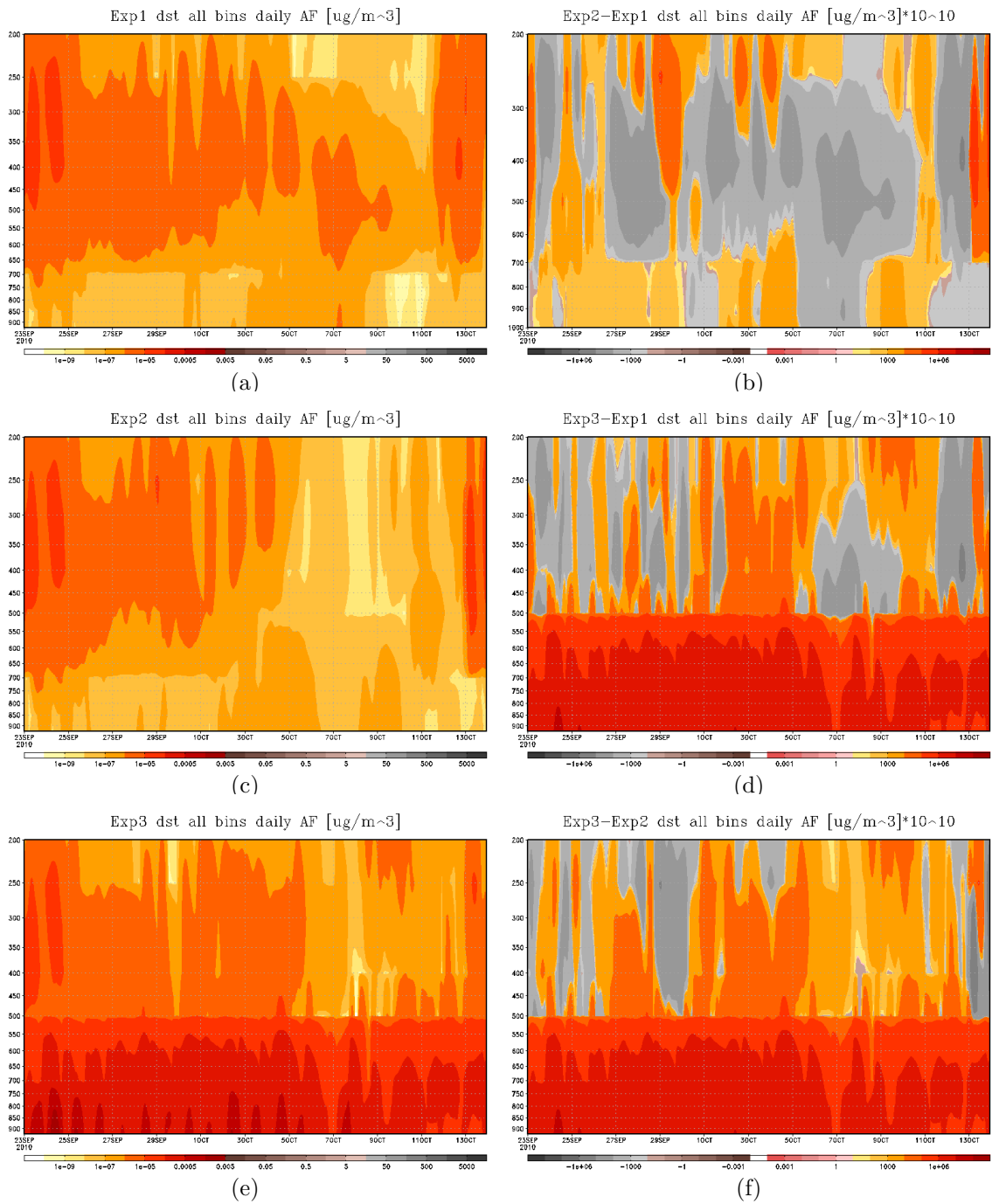


Figura 4.46 - Evolução temporal do transporte da poeira: Alta Floresta. Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2* e (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1* e (f) *Exp3 - Exp2*. Lat: *S9.8713*, Lon: *W56.1044*.

4.2 – Comparando as simulações

O agente principal deste estudo é a poeira. Na seção 4.1, as análises espaciais e temporais da poeira foram realizadas utilizando os campos médios: das emissões; das sedimentações gravitacionais; das deposições secas e úmidas; dos transportes nos níveis de pressão de 925, 500 e 200mb; dos perfis

zonais e meridionais nas regiões de Cabo Verde e Alta Floresta; e dos perfis dos deslocamentos das plumas de poeira sobre as localidades de Cabo Verde e Alta Floresta. Essas análises espaciais e temporais foram realizadas para os experimentos: controle (*Exp1*); com a poeira acoplada ao código de radiação (*Exp2*); e com a Caatinga como uma fonte potencial de poeira (*Exp3*).

A partir do experimento *Exp2*, os conteúdos de poeira transportados na atmosfera passaram a interagir com as radiações solares e terrestres. Esta seção procura avaliar os impactos dessas interações sobre os campos das precipitações. As análises serão efetuadas sobre as principais variáveis dos balanços de radiação e energia. No *MCGA*, a poeira não atua diretamente na precipitação. Porém, ao interagir com a radiação, a poeira modifica os perfis de aquecimento da atmosfera e da superfície, o que por fim altera os fluxos de calor sensível e latente na superfície. Desta forma, ao alterar os suprimentos dos processos convectivos, a poeira atua indiretamente na precipitação.

As interações entre a poeira e as radiações são analisadas através dos campos de: Onda Curta Incidente na Superfície (*OCIS*, seção 4.2.1); Onda Curta Absorvida na Superfície (*OCAS*, seção 4.2.2); Onda Longa Incidente na Superfície (*OLIS*, seção 4.2.3); e Onda Longa Emitida no topo da atmosfera (*ROLE*, seção 4.2.4). As alterações nos perfis de aquecimentos da atmosfera e da superfície são analisados através dos campos de: Temperatura absoluta na Superfície (*TEMS*, seção 4.2.5); e Temperatura na atmosfera (*TEMP*, seção 4.2.6). As alterações nos fluxos de calor na superfície e suas influências na umidade são analisados através dos campos de: Fluxo de Calor Sensível na Superfície (*CSSF*, seção 4.2.7); e Fluxo de Calor Latente na Superfície (*CLSF*, seção 4.2.8). As precipitações são analisadas através dos campos de: Precipitação total (*PREC*, seção 4.2.9); e Precipitação Convectiva (*PRCV*, seção 4.2.10).

4.2.1 – Comparando a radiação de onda curta incidente na superfície.

A radiação de Onda Curta Incidente na Superfície–*OCIS* é a quantidade da radiação solar que chega a superfície após atravessar a atmosfera. As nuvens e os aerossóis são os principais fatores que reduzem a incidência das radiações solares nas superfícies. Os conteúdos de poeira transportados na atmosfera também contribuem para reduzir a incidência das radiações solares nas superfícies. Nas regiões onde predominam as condições de céu claro como nos desertos e nos semiáridos, são esperados uma maior incidência das radiações solares nas superfícies. Em contrapartida, sob condições de poeira estas incidências tendem a diminuir.

As Figuras 4.47 (a), (c) e (e) mostram os padrões médios do *OCIS* para os experimentos *Exp1*, *Exp2* e *Exp3*. Os máximos dos *OCIS* são observados sobre as regiões desérticas como: o norte e centro-oeste da África; o Oriente Médio; o sudoeste da Índia; sudoeste da China; o noroeste da Austrália; e o centro-oeste da América do Sul (este devido ao período de estiagem). Os mínimos são encontrados nos polos, nas latitudes altas, nas regiões equatoriais (cinturão de nuvens do planeta), no oeste da China, e na Amazônia Ocidental.

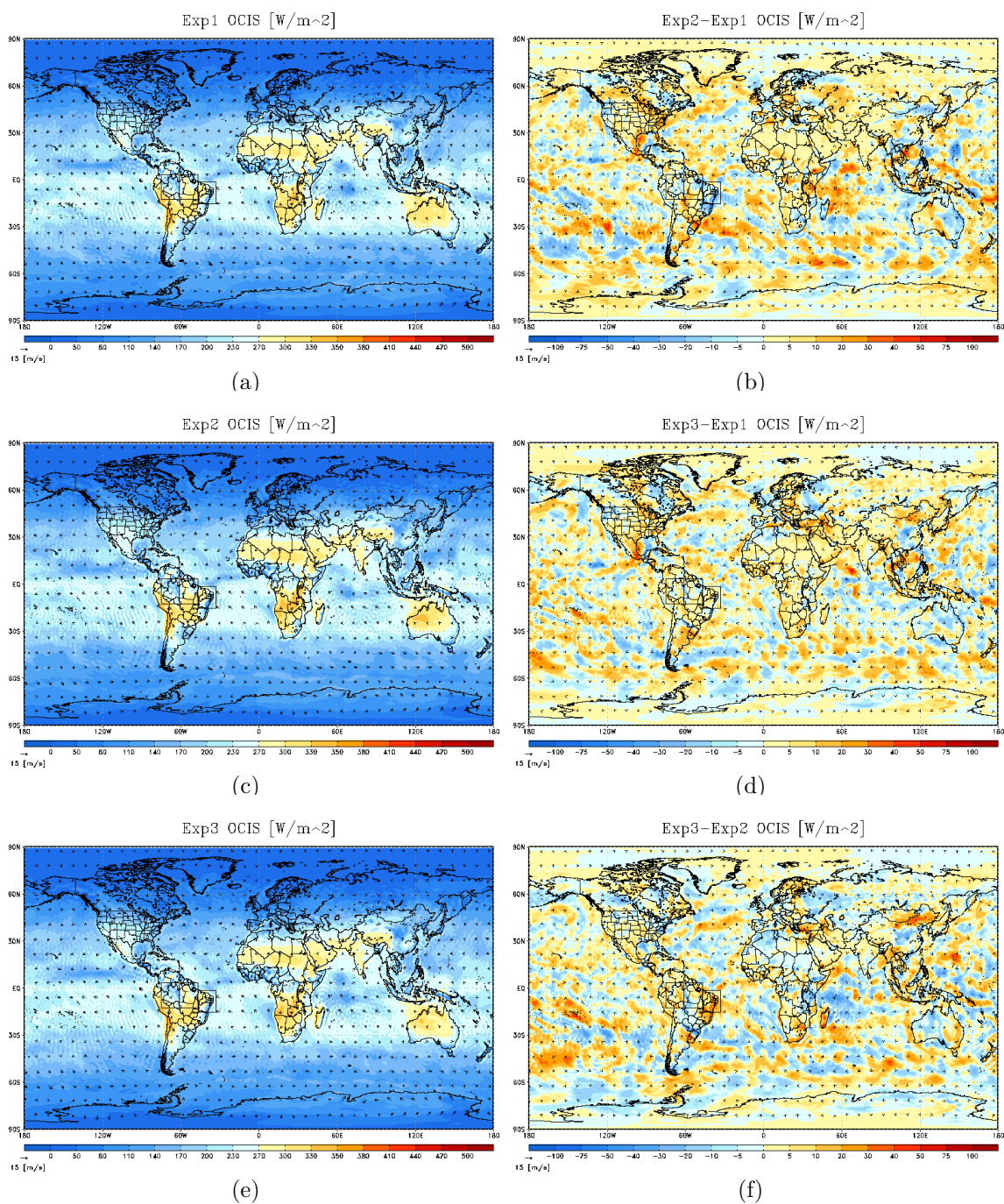


Figura 4.47 - Radiação de onda curta incidente na superfície (*OCIS*). Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*, Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

As Figuras 4.47 (b), (c) e (f) mostram os comparativos entre os experimentos *Exp2 - Exp1*, *Exp3 - Exp1* e *Exp3 - Exp2*. Nestas comparações, as diferenças entre os *OCIS* apresentam padrões alternados de máximos e mínimos ocorrendo por todo o globo em *Exp2 - Exp1*. As comparações entre os valores de conteúdos de poeira (Tabela 4.6) e os *OCIS* (Tabela 4.8) mostraram que as quantidades de radiações incidentes nas superfícies aumentaram tanto com as reduções dos conteúdos de poeira em *Exp2* quanto com os aumentos em *Exp3*. As seções 4.1.1 e 4.1.5 mostraram que as realimentações na dinâmica devidos as interações entre a poeira e as radiações reduziram

as emissões e os conteúdos de poeira na atmosfera no *Exp2*, e aumentaram no *Exp3*. Além disso houve uma redistribuição dos padrões dos conteúdos de poeira na atmosfera entre os experimentos acoplados e o controle. Essas realimentações modificaram também os padrões das deposições úmidas da poeira (seção 4.1.4). Isto indica uma possível mudança nos comportamentos das convecções profundas e também das coberturas de nuvens, e desta forma uma explicação para as diferenças encontradas entre os campos de *OCIS*. Este trabalho limita-se apenas a analisar os campos das precipitações, sendo que estas análises serão feitas nas seções 4.2.9 e 4.2.10.

Tabela 4.8 - Onda curta incidente na superfície – *OCIS*. As médias são integradas dentro das áreas de análises. Valores em $W.m^{-2}$.

<i>OCIS</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 – Exp1</i>	<i>Exp3 – Exp1</i>	<i>Exp3 – Exp2</i>
média	Glb	1.05025E+07	1.05698E+07	1.05713E+07	6.72930E+04	6.88550E+04	1.56200E+03
	Ctg	6.09138E+04	5.78823E+04	6.11038E+04	-3.03147E+03	1.89988E+02	3.22146E+03
	Am1	7.51118E+04	7.52899E+04	7.53282E+04	1.78125E+02	2.16453E+02	3.83281E+01
	Am2	6.60229E+04	6.46567E+04	6.58916E+04	-1.36618E+03	-1.31250E+02	1.23493E+03

As regiões da Caatinga e da Amazônia apresentaram variações nos padrões dos *OCIS* para os experimentos acoplados. Na comparação *Exp2 – Exp1*, tanto a Caatinga quanto a Amazônia sofreram um decréscimo dos *OCIS*. Nos experimentos *Exp1* e *Exp2* os conteúdos de poeira sobre estas regiões são provenientes de fontes remotas. As reduções nas quantidades dos conteúdos de poeira na atmosfera não foram suficientes para aumentar as *OCIS*, mesmo participando na realimentação da dinâmica. Contudo, no experimento *Exp3*, os aumentos dos conteúdos de poeira nestas regiões, que deveriam por si próprios diminuir as *OCIS*, alteraram a dinâmica de tal forma que aumentaram as *OCIS*.

4.2.2 – Comparando a radiação de ondas curtas absorvida na superfície

A radiação de Ondas Curtas Absorvida na Superfície–*OCAS* é a quantidade de energia utilizada para movimentar os principais processos físicos e biogeoquímicos que ocorrem nas superfícies, incluindo as evapotranspirações e os fluxos de calor latente e sensível. A poeira na atmosfera espalha e absorve as radiações solares, o que reduz a incidência das radiações solares nas superfícies, e desta forma reduz as *OCAS*.

A quantidade da radiação absorvida na superfície depende do albedo da superfície. A quantidade da radiação incidente na superfície foi abordada na seção 4.2.1. As análises das *OCAS* seguem os mesmos princípios das análises dos *OCIS*. Contudo, as maiores quantidades das radiações solares incidentes nas superfícies ocorrem nas regiões semi-áridas e desérticas, e as superfícies destas regiões possuem altos valores de albedo.

As Figuras 4.48 (a), (c) e (e) mostram os padrões médios das *OCAS* para os experimentos com e sem o acoplamento dos perfis de poeira com as radiações. O período das simulações para a obtenção dessas médias foi de 0Z de 23 de setembro até 23Z de 13 de outubro de 2010. Os máximos de *OCAS* são encontrados no oeste da América do Sul e da Austrália e no centro sul da África. A paleta de cores e valores foi padronizado para facilitar as comparações visuais entre os campos de radiações: *OCIS*, *OCAS*, *OLIS* e *ROLE*. Infelizmente, esta atitude impossibilitou as análises individuais dos pequenos detalhes dos campos de *OCAS*.

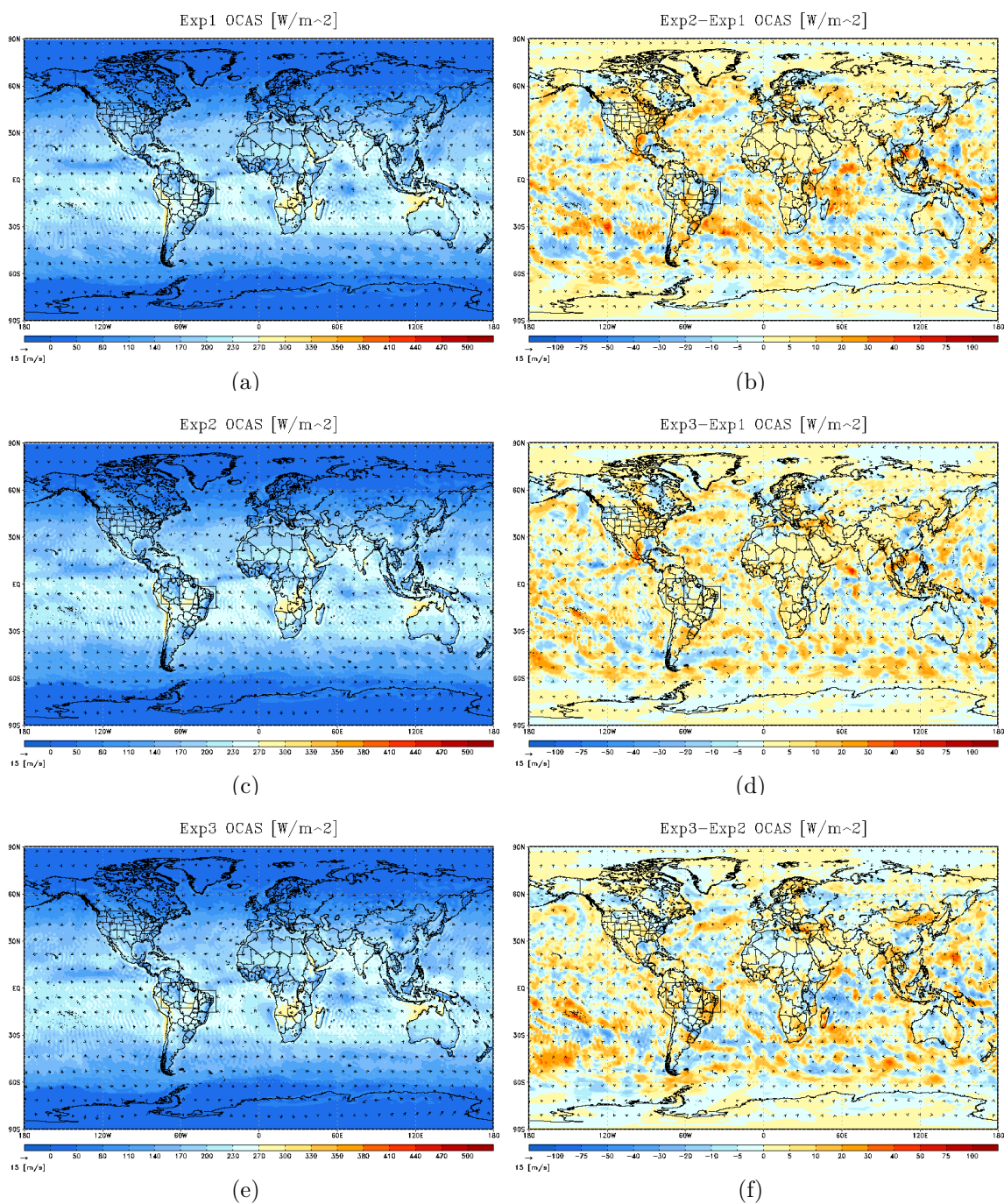


Figura 4.48 - Radiação de ondas curtas absorvida na superfície (*OCAS*). Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2-Exp1*, (d) *Exp3-Exp1*, (f) *Exp3-Exp2*.

As Figuras 4.48 (b), (d) (f) mostram os comparativos entre as médias das *OCAS* para os experimentos com e sem o acoplamento dos perfis de poeira com as radiações. Os padrões das comparações das *OCAS* são semelhantes aos dos *OCIS*. A Tabela 4.9 mostra que os valores das médias de *OCAS* integrados nas áreas de análises são 1 ordem de grandeza menor do que os valores de *OCIS* (Tabela 4.8). Como identificado na seção 4.2.1, os valores absolutos dos conteúdos de poeira na atmosfera nas áreas de análises não explicam diretamente as variações dos *OCAS*, ainda mais quando as absorções das radiações pelas superfícies estão vinculadas aos albedos dessas superfícies.

No caso da Caatinga, os limites da área selecionada abrangem os albedos do semiárido, do litoral, e do oceano.

Os resultados das comparações entre os experimentos $Exp2 - Exp1$ e $Exp3 - Exp1$ indicam um aumento das *OCAS* sobre o globo, a Amazônia Oriental, e a Caatinga com fontes de poeira. Estas comparações também indicam uma redução das *OCAS* para a Amazônia Ocidental e para a Caatinga sem fontes de poeira.

Tabela 4.9 - Onda curta absorvida na superfície – *OCAS*. As médias são integradas dentro das áreas de análises. Valores em $W.m^{-2}$.

<i>OCAS</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp2</i>
média	Glb	8.99912E+06	9.05158E+06	9.05768E+06	5.24540E+04	5.85540E+04	6.10000E+03
	Ctg	5.22334E+04	4.95585E+04	5.23362E+04	-2.67495E+03	1.02766E+02	2.77772E+03
	Am1	6.49631E+04	6.50907E+04	6.51222E+04	1.27559E+02	1.59113E+02	3.15547E+01
	Am2	5.69798E+04	5.58052E+04	5.68711E+04	-1.17461E+03	-1.08676E+02	1.06593E+03

4.2.3 – Comparando a radiação de onda longa incidente na superfície

Os constituintes atmosféricos absorvem e espalham as radiações solares e terrestres, e absorvem também o calor latente proveniente da condensação do vapor de água. A seguir, essa energia é emitida para o meio na forma das radiações de ondas longas. A radiação de Onda Longa Incidente na Superfície–*OLIS* é a quantidade de radiação que chega na superfície do planeta.

As Figuras 4.49 (a), (c) e (e) mostram as médias das *OLIS* dos experimentos: *Exp1*; *Exp2* e *Exp3*, durante o período de 0Z de 23 de setembro a 23Z de 13 de outubro de 2010. Os valores máximos estão localizadas na faixa equatorial, com destaque aos núcleos sobre a região do Pacífico oeste, próximo da China. Os mínimos estão localizados sobre os polos e nas grandes cadeias de montanhas dos Himalaias, das Rochosas e dos Andes.

As Figuras 4.49 (b), (d), e (f) mostram as comparações entre as *OLIS* médias para os experimentos com e sem o acoplamento dos perfis poeira com as radiações. As anomalias do *OLIS* apresentam padrões invertidos em relação as anomalias dos *OCIS*. Como indicado na seção 4.2.1, as anomalias negativas das *OCIS* ocorrem devido as coberturas de nuvens. A presença das coberturas de nuvens aprisiona uma quantidade maior de radiações de ondas longas abaixo das nuvens, colaborando desta forma para as intensificações das *OLIS*.

A Tabela 4.10 mostra os valores médios das *OLIS* somadas dentro das áreas de análises. Os resultados globais mostram suaves reduções entre as *OLIS* do controle e dos experimentos acoplados. Este padrão é o mesmo encontrado para a Amazônia Oriental e para a Caatinga na presença das fontes de poeira. As diferenças positivas ocorrem na Amazônia Ocidental e na Caatinga sem a presença das fontes de poeira.

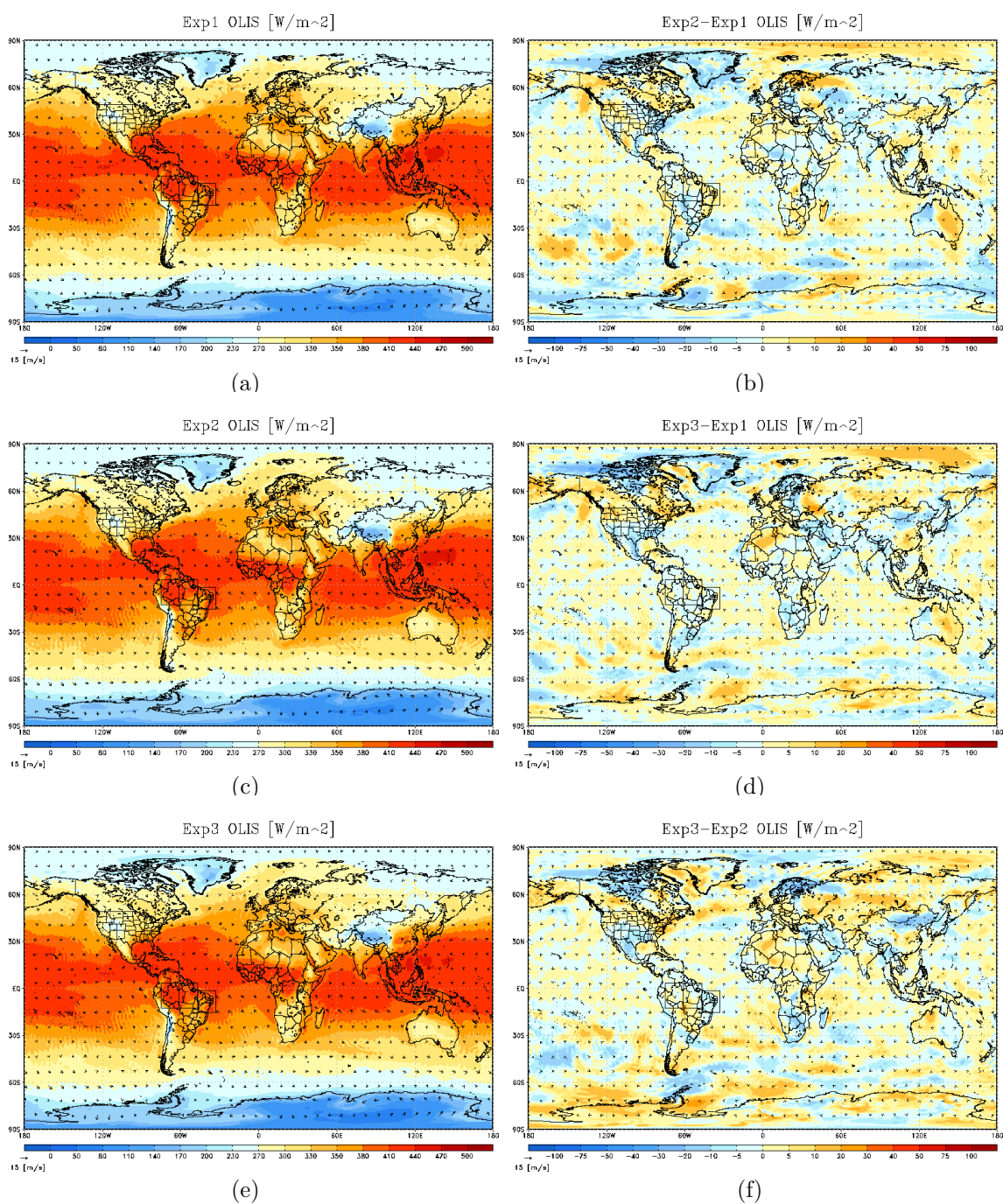


Figura 4.49 - Radiação de onda longa incidente na superfície (*OLIS*). Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*, Diferenças: (b) $Exp2 - Exp1$, (d) $Exp3 - Exp1$, (f) $Exp3 - Exp2$.

Tabela 4.10 - Onda longa incidente na superfície – *OLIS*. As médias são integradas dentro das áreas de análises. Valores em $W.m^{-2}$.

<i>OLIS</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	$Exp2 - Exp1$	$Exp3 - Exp1$	$Exp3 - Exp2$
média	Glb	2.27217E+07	2.26875E+07	2.26959E+07	-3.41980E+04	-2.58140E+04	8.38400E+03
	Ctg	9.98538E+04	1.00379E+05	9.95443E+04	5.25352E+02	-3.09422E+02	-8.34773E+02
	Am1	1.15471E+05	1.14607E+05	1.14949E+05	-8.64609E+02	-5.22047E+02	3.42563E+02
	Am2	1.18071E+05	1.18148E+05	1.18154E+05	7.68516E+01	8.33594E+01	6.50781E+00

4.2.4 – Comparando a radiação de onda longa no topo da atmosfera.

As Radiações de Onda Longa Emitida no topo da atmosfera *ROLE* são as radiações terrestres emitidas pelas superfícies e pelos constituintes atmosféricos. Ela é muito influenciada pelas nuvens (gotículas de água e cristais de gelo), e pelos aerossóis (gases de efeito estufa).

As Figuras 4.50 (a), (c) e (e) mostram as médias das *ROLE* para os três experimentos *Exp1*, *Exp2* e *Exp3*. As regiões dos valores máximos das *ROLE* coincidem com as regiões dos valores máximos das *OCIS*. Nestas regiões, as condições de céu claro (alta transmissividade) facilitam as fugas das radiações de ondas longas emitidas pelas superfícies em direção do espaço.

As Figuras 4.50 (b), (d) e (f) mostram os comparativos das *ROLE* entre os experimentos com e sem o acoplamento dos perfis de poeira nas radiações. Do total das radiações solares incidentes nas superfícies, uma parte é refletida de volta ao espaço, outra parte é absorvida pela superfície, e o restante é emitida na forma das radiações de ondas longas. Por isso, os padrões das anomalias das *ROLE* mostraram semelhanças com os padrões das anomalias das *OCIS*. Contudo, as pequenas variações nestes padrões ocorrem devido as interações das radiações de ondas longas com as nuvens.

A Tabela 4.11 mostram uma suave redução nos valores globais das *ROLE*. As interações entre a poeira e as radiações nos experimentos acoplados aumentaram os valores globais das *OCIS* e das *OCAS*. Os resultados esperados são um aumento das *ROLE*. As diminuições nos valores das *ROLE* podem estar relacionados com as mudanças nas coberturas de nuvens. Em destaque, as reduções das *ROLE* na Caatinga e na Amazônia durante o *Exp2 – Exp1* estão de acordo com as reduções das deposições úmidas nestas regiões (Tabela 4.5). Porém, nas comparações *Exp3 – Exp1*, o aumento da *ROLE* na Amazônia Oriental está em contraste com o aumento da deposição úmida. A possível causa pode estar relacionada com as frações ocupadas pelas convecções dentro desta área, principalmente na fração nordeste.

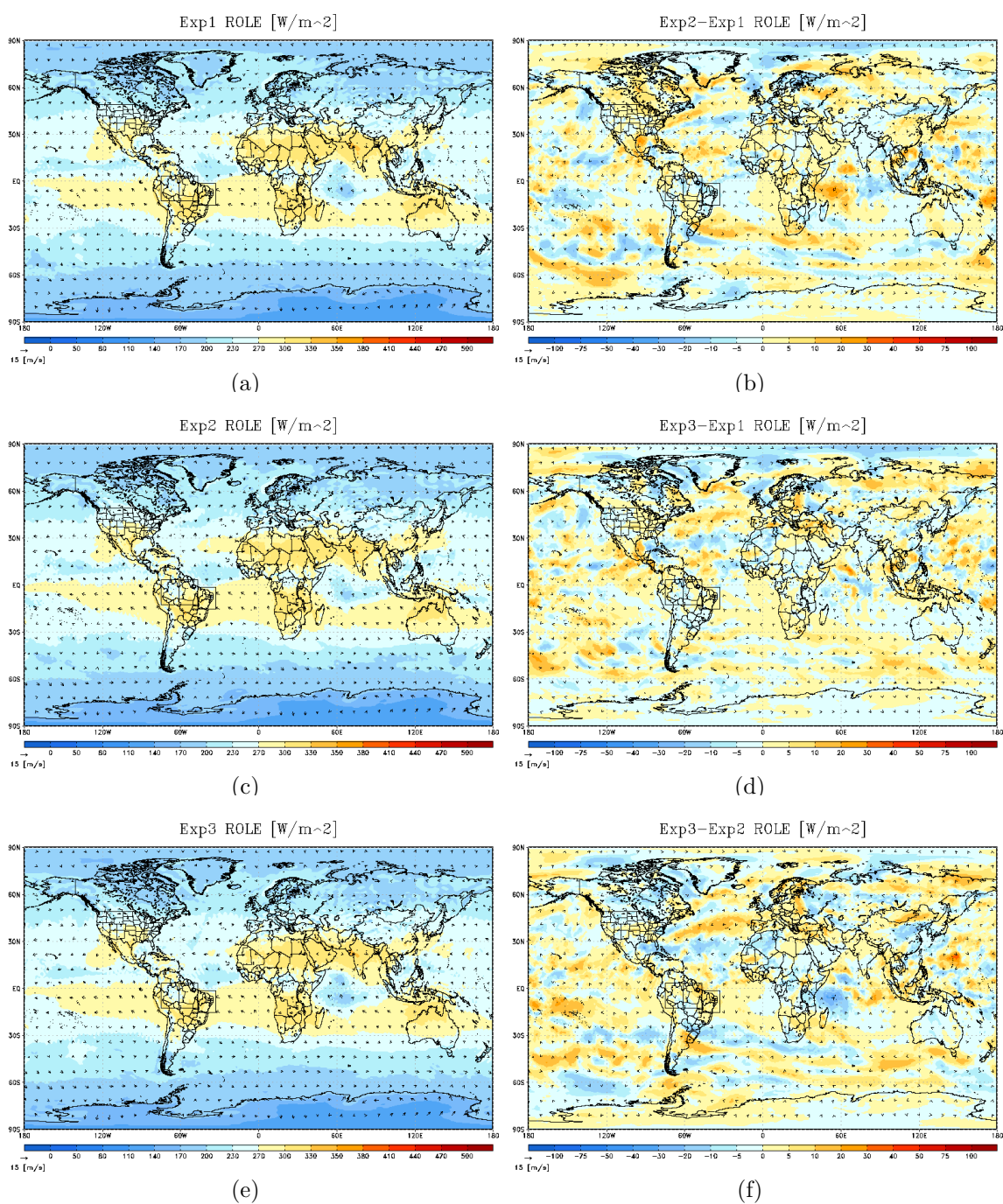


Figura 4.50 - Radiação infravermelha no topo da atmosfera (*ROLE*). Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1*, (f) *Exp3* – *Exp2*.

Tabela 4.11 - Radiação de onda longa emitida no topo da atmosfera – *ROLE*. As médias são integradas dentro das áreas de análises. Valores em $W.m^{-2}$.

<i>ROLE</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2</i> – <i>Exp1</i>	<i>Exp3</i> – <i>Exp1</i>	<i>Exp3</i> – <i>Exp2</i>
média	Glb	1.65073E+07	1.64957E+07	1.64881E+07	-1.15960E+04	-1.91390E+04	-7.54300E+03
	Ctg	7.37829E+04	7.24368E+04	7.39993E+04	-1.34611E+03	2.16320E+02	1.56243E+03
	Am1	8.18135E+04	8.10416E+04	8.18560E+04	-7.71875E+02	4.25234E+01	8.14398E+02
	Am2	7.83380E+04	7.71527E+04	7.74843E+04	-1.18530E+03	-8.53648E+02	3.31656E+02

4.2.5 – Comparando a temperatura absoluta na superfície.

O aquecimento da superfície depende das taxas de absorção e emissão das radiações solar e terrestre. Esta seção procura analisar as influências da poeira nos aquecimentos das superfícies através das Temperaturas das Superfícies – *TEMS*. As Figuras 4.51 (a), (c) e (e) mostram as médias das temperaturas das superfícies. Os máximos das *TEMS* estão distribuídas nas proximidades do equador, sobre as regiões do Caribe, da Amazônia, do Sahel Africano, e também na Polinésia.

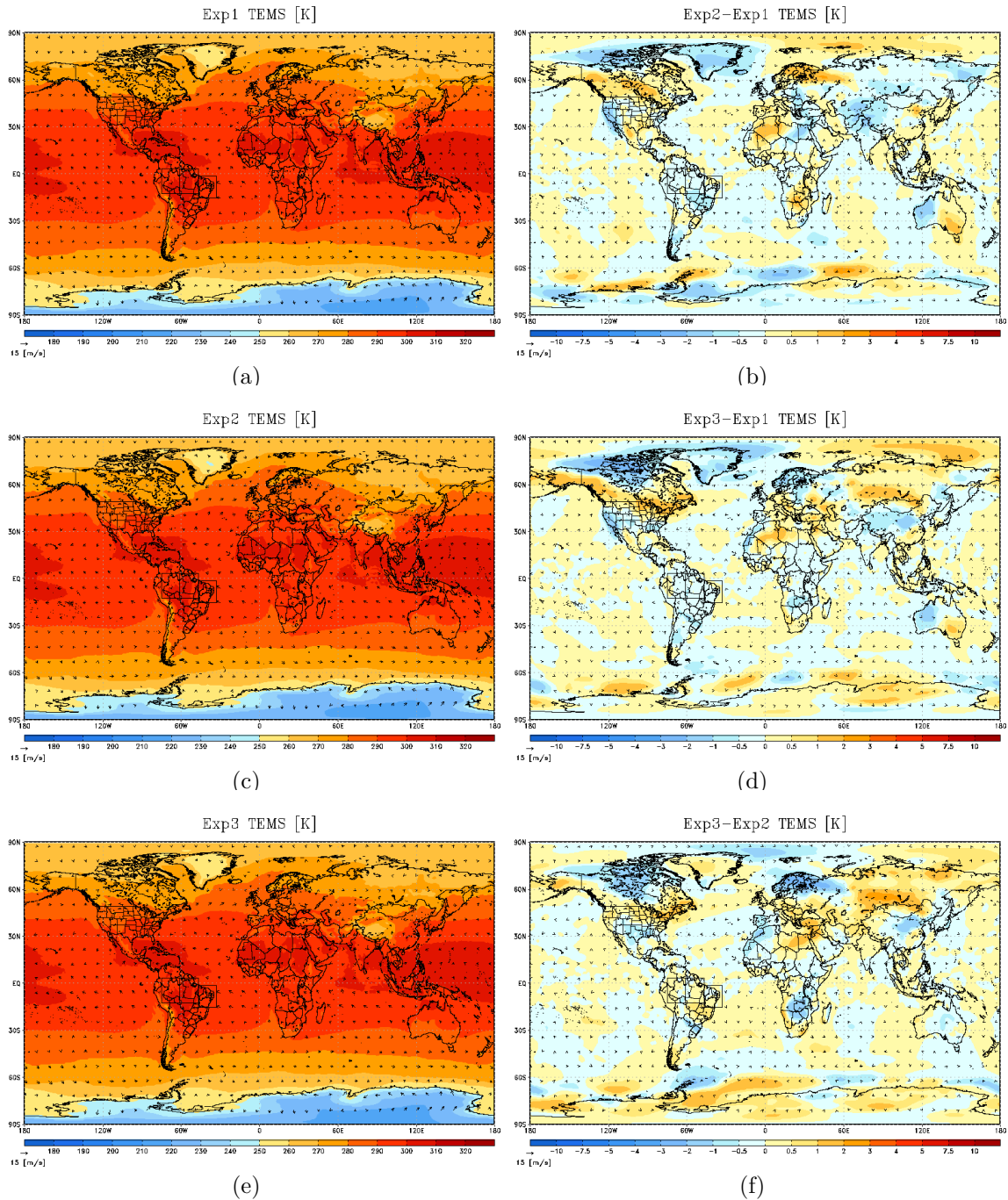


Figura 4.51 - Temperatura absoluta da superfície (*TEMS*). Médias: (a) Exp1, (b) Exp2, (c) Exp3. Diferenças: (b) *Exp2* – *Exp1*, (d) *Exp3* – *Exp1*, (f) *Exp3* – *Exp2*.

As Figuras 4.51 (b), (d) e (f) mostram as diferenças entre as médias das *TEMS* para os três experimentos. As comparações entre os valores dos conteúdos de poeira (Tabela 4.6) com as temperaturas das superfícies (Tabela 4.12) mostram que, independente das alterações nos conteúdos de poeira, as *TEMS* apresentam um decréscimo de temperatura para todas as áreas das análises.

Tabela 4.12 - Temperatura da superfície – *TEMS*. As médias são integradas dentro das áreas de análises. Valores em *K*.

<i>TEMS</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 – Exp1</i>	<i>Exp3 – Exp1</i>	<i>Exp3 – Exp2</i>
média	Glb	2.05749E+07	2.05724E+07	2.05748E+07	-2.47800E+03	-1.28000E+02	2.35000E+03
	Ctg	7.62262E+04	7.61630E+04	7.61914E+04	-6.32109E+01	-3.47813E+01	2.84297E+01
	Am1	8.66554E+04	8.65454E+04	8.66063E+04	-1.10063E+02	-4.91563E+01	6.09063E+01
	Am2	8.61465E+04	8.60922E+04	8.61139E+04	-5.43047E+01	-3.26328E+01	2.16719E+01

4.2.6 – Comparando a temperatura absoluta na atmosfera

As influências da poeira nos perfis dos aquecimentos da atmosfera são analisadas através das variações das Temperaturas Absolutas – *TEMP*. As Figuras 4.52 (a), (c) e (e) mostram as médias das *TEMP* no nível de pressão de 925mb. Neste nível, os máximos estão localizados em toda a faixa equatorial, e apresentam núcleos intensos sobre o centro-oeste da América do Sul, o deserto do Saara, e sobre a Índia.

As Figuras 4.52 (b), (d) e (f) mostram as comparações das *TEMP* entre os três experimentos, no nível de pressão de 925mb. Na comparação *Exp2 – Exp1*, os extremos das anomalias das temperaturas estão localizados nas regiões tropicais do hemisfério sul, e nas regiões das altas latitudes no hemisfério norte. Na comparação *Exp3 – Exp1*, este panorama apresentou um enfraquecimento das anomalias no hemisfério sul. Sobre as áreas de análises, os resultados apontam um resfriamento da atmosfera nestas duas comparações.

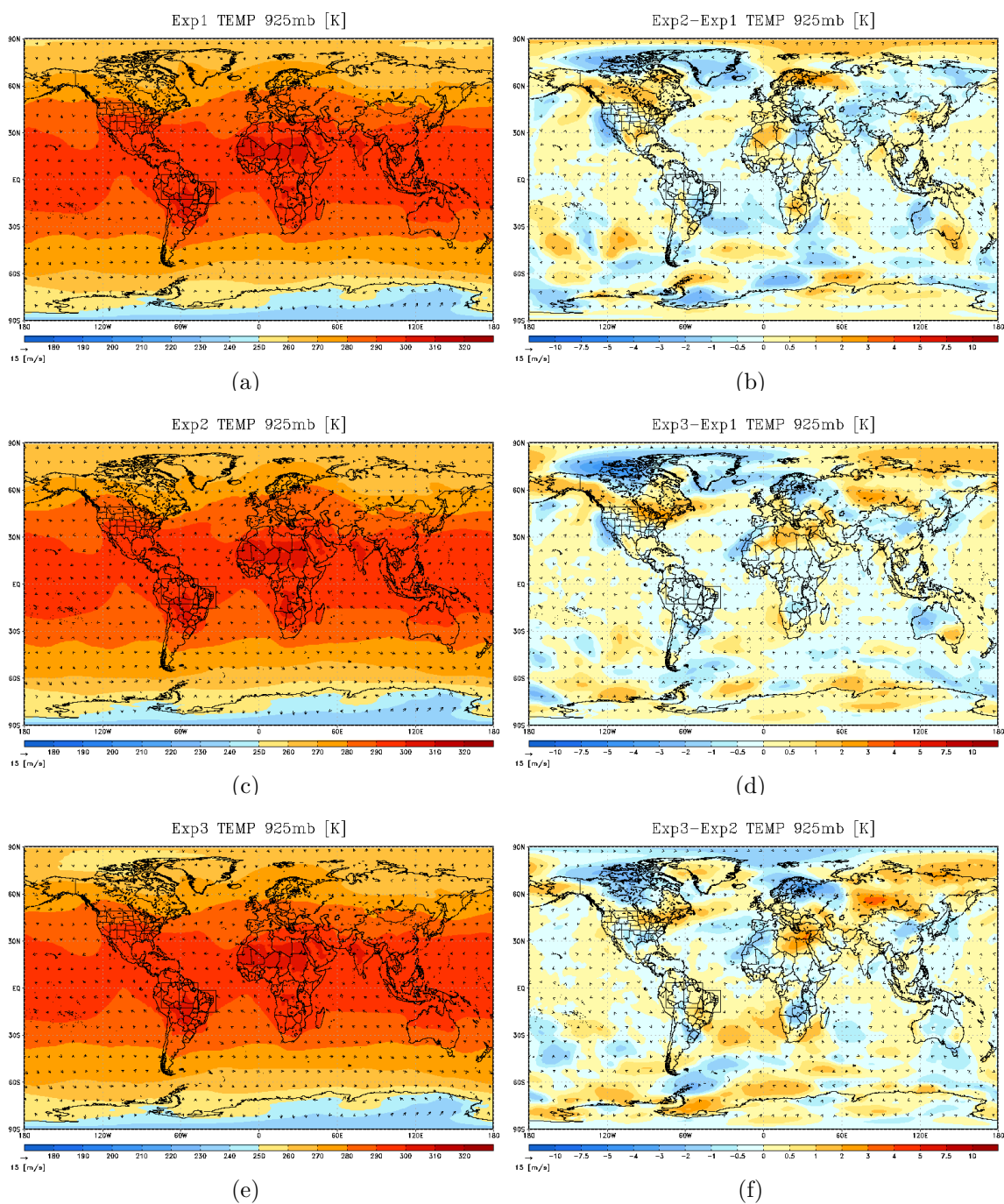


Figura 4.52 - Temperatura absoluta da atmosfera ($TEMP$): 925mb. Médias em 925mb: (a) Exp1, (c) Exp2, (e) Exp3. Diferenças em 925mb: (b) Exp2-Exp1, (d) Exp3-Exp1, (f) Exp3-Exp2.

As Figuras 4.53 (a), (c) e (e) mostram as médias das $TEMP$ no nível de pressão de 500mb. Os máximos ocorrem sobre o Oceano Pacífico Equatorial e Oceano Índico. As Figuras 4.53 (b), (d) e (f) mostram as comparações das $TEMP$ entre os três experimentos, e no nível de pressão de 500mb. Os valores extremos das anomalias de temperatura estão localizados nas regiões tropicais do hemisfério sul, e nas regiões das altas latitudes do hemisfério norte.

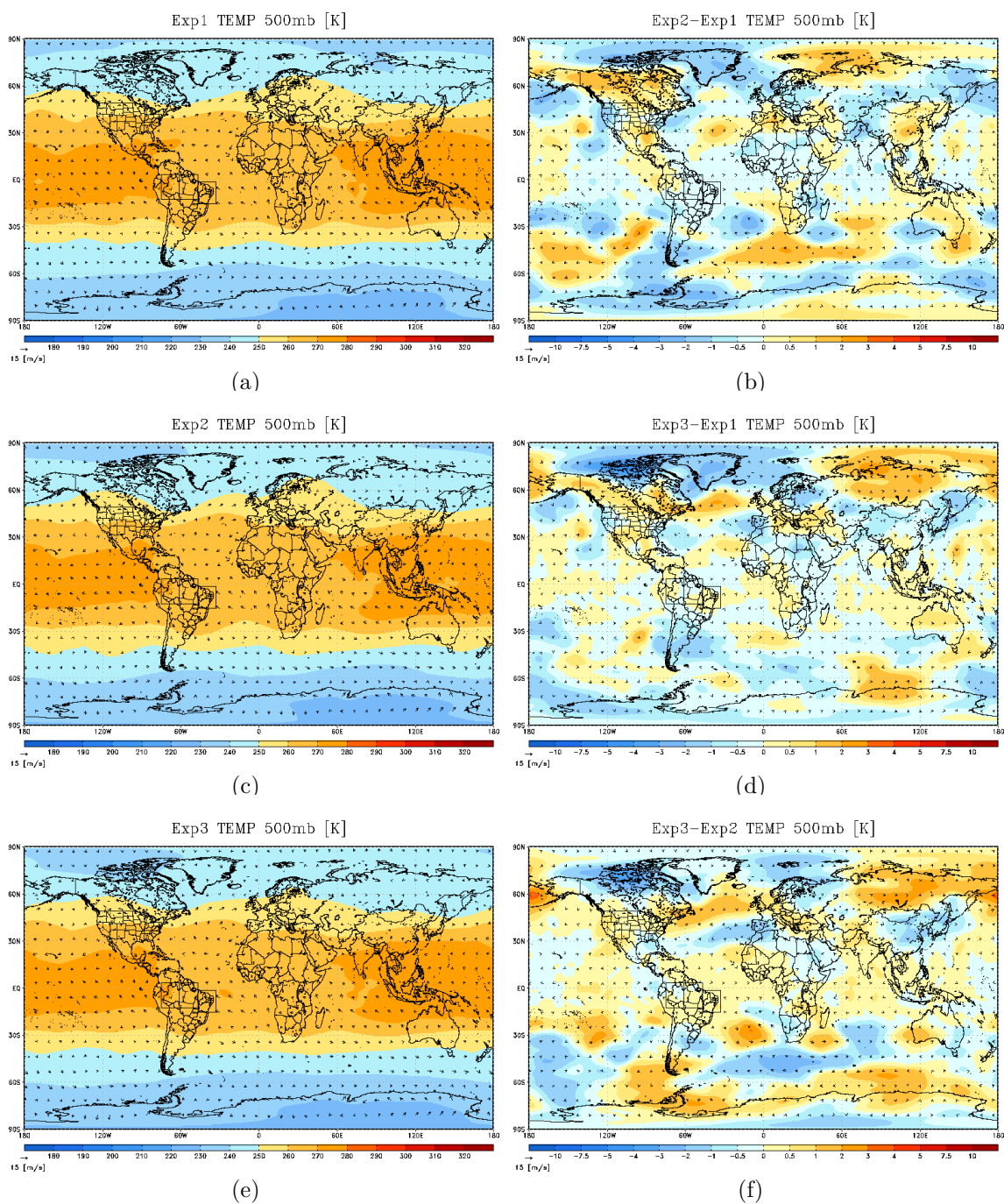


Figura 4.53 - Temperatura absoluta da atmosfera ($TEMP$): 500mb. Médias em 500mb: (a) Exp1, (c) Exp2, (e) Exp3. Diferenças em 500mb: (b) Exp2-Exp1, (d) Exp3-Exp1, (f) Exp3-Exp2.

Em especial, houve um resfriamento na Amazônia Oriental e na Caatinga durante a comparação $Exp2 - Exp1$, e um aquecimento nestas regiões na comparação $Exp3 - Exp1$, ou seja, as inclusões das fontes regionais de poeira na Caatinga modificaram as taxas de aquecimentos da atmosfera neste nível. A Amazônia ocidental apresentou anomalias positivas de temperaturas nestas duas comparações, e provavelmente estes aquecimentos estão relacionados com as liberações do calor latente durante as condensações do vapor de água.

As Figuras 4.54 (a), (c) e (e) mostram as médias das *TEMP* no nível de pressão de 200mb. Os valores máximos se encontram sobre os Oceanos Pacífico e Índico, além do Atlântico norte. As Figuras 4.54 (b), (d) e (f) mostram as comparações das *TEMP* para o nível de pressão de 200mb. As anomalias das temperaturas apresentam máximos e mínimos sobre as regiões tropicais, principalmente no hemisfério Sul. Nas áreas das análises, as anomalias das temperaturas praticamente permaneceram inalteradas.

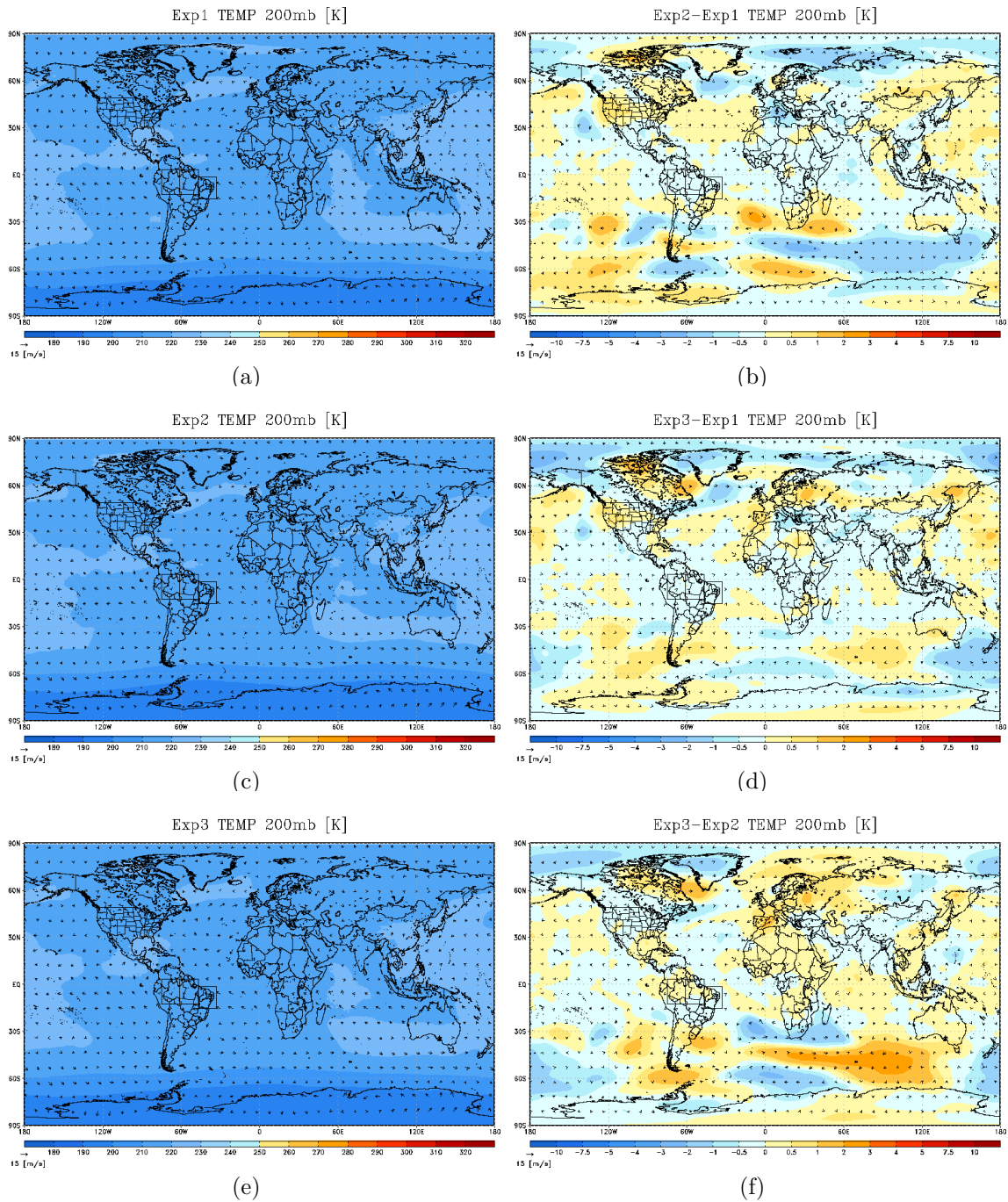


Figura 4.54 - Temperatura absoluta da atmosfera (*TEMP*): 200mb. Médias em 200mb: (a) Exp1, (c) Exp2, (e) Exp3. Diferenças 200mb: (b) Exp2-Exp1, (d) Exp3-Exp1, (f) Exp3-Exp2.

Para facilitar as comparações entre os experimentos, os valores médios das *TEMP* dentro das colunas atmosféricas são integrados desde os níveis de pressão de 925 a 200mb. A Tabela 4.13 mostra os valores integrados das *TEMP*. Os resultados mostram um resfriamento em todas as áreas das análises durante os dois experimentos acoplados. Isto indicam que as inclusões dos perfis de poeira estimados pelo *CCATT*, aliados as realimentações da dinâmica devidos as interações entre a poeira e as radiações, reduziram as temperaturas médias da atmosfera.

Tabela 4.13 - Temperatura absoluta da atmosfera – *TEMP*. As médias são integradas dentro das áreas de análises. Valores em *K*.

<i>TEMP</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 – Exp1</i>	<i>Exp3 – Exp1</i>	<i>Exp3 – Exp2</i>
média	Glb	1.65889E+08	1.65771E+08	1.65780E+08	-1.18464E+05	-1.09504E+05	8.96000E+03
	Ctg	6.04964E+05	6.04285E+05	6.04600E+05	-6.78625E+02	-3.63938E+02	3.14688E+02
	Am1	6.84545E+05	6.83918E+05	6.84234E+05	-6.27125E+02	-3.11563E+02	3.15563E+02
	Am2	6.84423E+05	6.83983E+05	6.84085E+05	-4.40625E+02	-3.38875E+02	1.01750E+02

4.2.7 – Comparando o fluxo de calor sensível

O Fluxo de Calor Sensível (*CSSF*) é a quantidade de energia utilizada para aquecer as superfícies. Essa energia é extraída da radiação absorvida pela superfície.

As Figuras 4.55 (a), (c) e (e) mostram as médias do *CSSF*. O conteúdo de poeira presente na atmosfera interage com as radiações de modo a atenuar a quantidade das radiações incidentes (*OCIS*) e absorvidas (*OCAS*) pelas superfícies.

As Figuras 4.55 (b), (d) e (f) mostram as comparações dos *CSSF* entre as simulações. Os máximos se encontram sobre o centro-oeste da América do Sul, centro-sul da África e norte da Austrália. Observando as comparações *Exp2 – Exp1* e *Exp3 – Exp2*, os padrões positivos e negativos dos fluxos de calor sensível ocorrem com mais destaques nas latitudes médias e altas.

No contexto geral (Tabela 4.14), os valores de *CSSF* aumentaram em todas as áreas selecionadas e em todas as simulações. As exceções foram sobre a Caatinga e a Amazônia Ocidental no experimento *Exp3*.

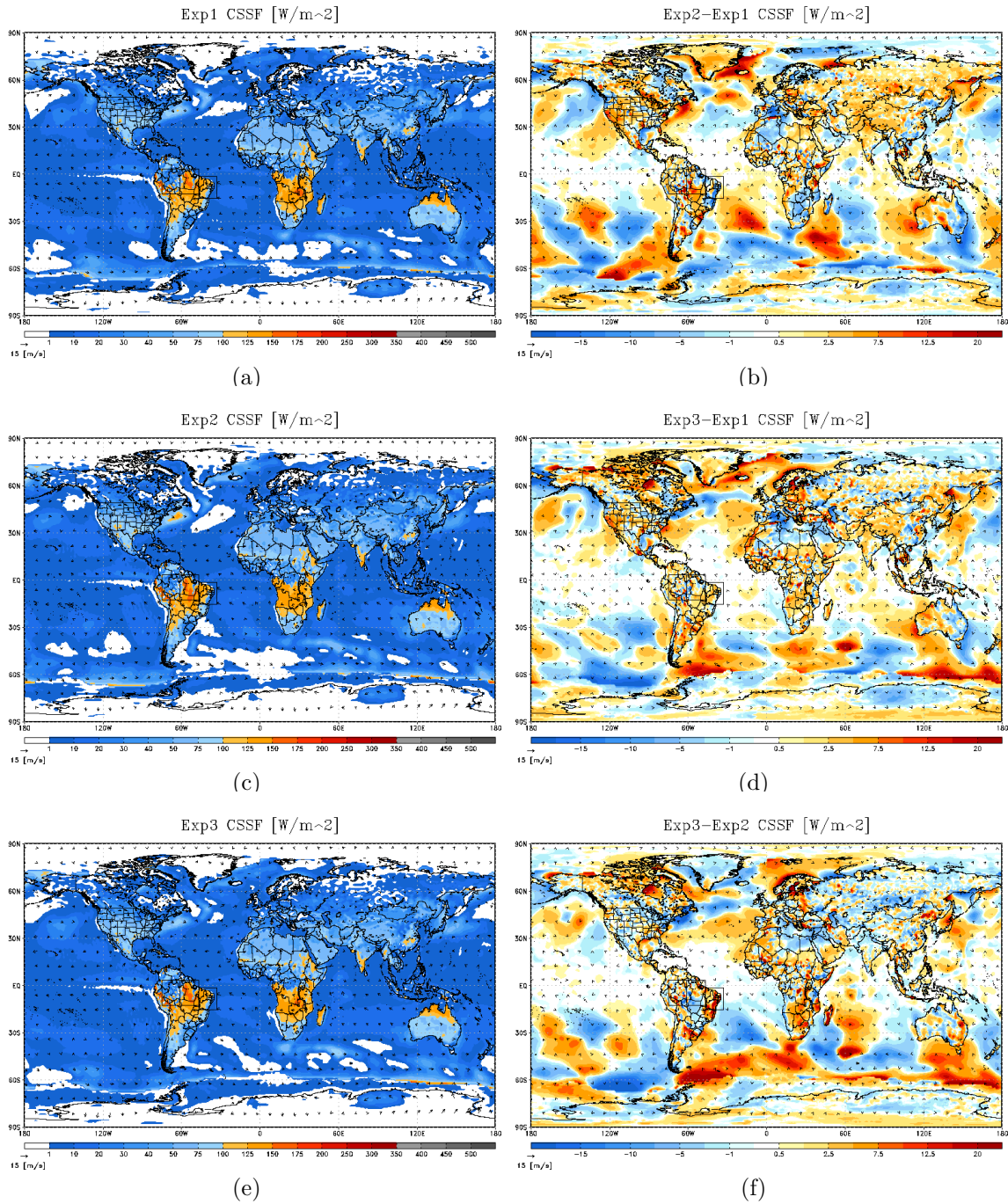


Figura 4.55 - Fluxo de calor sensível (*CSSF*). Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

Tabela 4.14 - Fluxo de calor sensível na superfície – *CSSF*. As médias são integradas dentro das áreas de análises. Valores em $W.m^{-2}$.

<i>CSSF</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp2</i>
média	Glb	1.08548E+06	1.09877E+06	1.10055E+06	1.32926E+04	1.50666E+04	1.77400E+03
	Ctg	1.71488E+04	1.66700E+04	1.75361E+04	-4.78852E+02	3.87246E+02	8.66098E+02
	Am1	2.90552E+04	2.96921E+04	2.94723E+04	6.36914E+02	4.17139E+02	-2.19775E+02
	Am2	1.62377E+04	1.60088E+04	1.58525E+04	-2.28837E+02	-3.85217E+02	-1.56380E+02

4.2.8 – Comparando o fluxo de calor latente na superfície.

O Fluxo de Calor Latente – *CLSF* é a quantidade de energia utilizada para evaporar a água. Essa energia é extraída da radiação absorvida pela superfície. Como mostrado nas seções anteriores, a poeira interage no balanço radiativo e altera as quantidades das radiações solares e terrestres absorvidas pela superfície. Estas redistribuições de energia nas superfícies modificam os valores dos campos dos *CLSF*.

As Figuras 4.56 (a), (c) e (e) mostram as médias dos *CLSF* para todos os experimentos. As médias dos *CLSF* mostram os máximos sobre os oceanos tropicais, e também sobre a Amazônia Ocidental e a África Central. Note que os mínimos ocorrem sobre os principais desertos e também sobre a Caatinga.

As Figuras 4.56 (b), (d) e (f) mostram as comparações entre as médias dos *CLSF*. Comparando as anomalias dos *CLSF* com as anomalias dos conteúdos da poeira transportados (seção 4.1.5), são notados algumas semelhanças entre as anomalias negativas dos conteúdos de poeira e as anomalias positivas dos *CLSF*. Estas reduções da poeira na atmosfera permitem um aumento das absorções das radiações pelas superfícies, e que podem ser disponibilizadas para os *CLSF*.

A Tabela 4.15 mostra os valores das médias dos *CLSF* integrados nas áreas de análises. As mudanças nos padrões das anomalias em *Exp2 – Exp1* e *Exp3 – Exp1* são refletidas nos valores dos *CLSF* para as áreas das análises. Em *Exp2 – Exp1* todas as regiões apresentaram uma redução nos valores de *CLSF*, a exceção da Caatinga. Em *Exp3 – Exp1* todas as áreas de análises apresentaram aumentos do *CLSF*, a exceção da Amazônia Oriental.

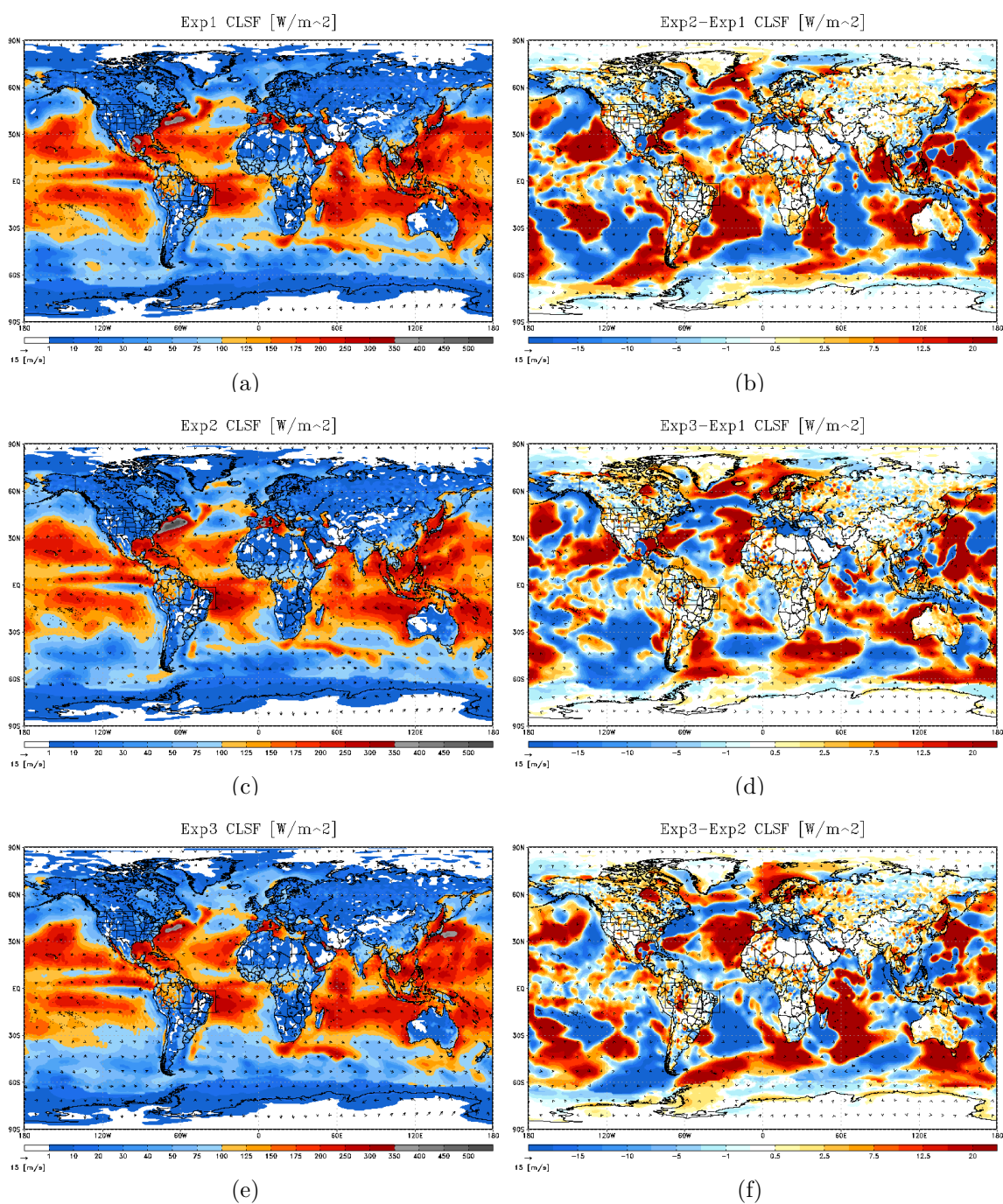


Figura 4.56 - Fluxo de calor latente ($CLSF$). Médias: (a) $Exp1$, (c) $Exp2$, (e) $Exp3$. Diferenças: (b) $Exp2 - Exp1$, (d) $Exp3 - Exp1$, (f) $Exp3 - Exp2$.

Tabela 4.15 - Fluxo de calor latente na superfície - $CLSF$. As médias são integradas dentro das áreas de análises. Valores em $W.m^{-2}$.

$CLSF$		$Exp1$	$Exp2$	$Exp3$	$Exp2 - Exp1$	$Exp3 - Exp1$	$Exp3 - Exp2$
média	Glb	5.13210E+06	5.13191E+06	5.14552E+06	-1.95000E+02	1.34225E+04	1.36175E+04
	Ctg	2.26275E+04	2.52482E+04	2.29342E+04	2.62075E+03	3.06729E+02	-2.31402E+03
	Am1	1.60759E+04	1.57862E+04	1.58632E+04	-2.89673E+02	-2.12624E+02	7.70488E+01
	Am2	2.75275E+04	2.70958E+04	2.81498E+04	-4.31777E+02	6.22248E+02	1.05403E+03

4.2.9 – Comparando a precipitação total

Esta seção aborda a Precipitação Total – *PREC*. No *MCGA* a poeira não interage diretamente com a precipitação. Porém, as interações entre a poeira e as radiações modificam o balanço de radiação e de energia, isto resulta em alterações nos suprimentos das convecções. Desta forma, a poeira interage indiretamente na precipitação.

As Figuras 4.57 (a), (c) e (e) mostram as médias das Precipitações Totais para os experimentos *Exp1*, *Exp2* e *Exp3*. O período utilizado para realizar as médias foi de 0Z de 23 de setembro até 23Z de 13 de outubro de 2010. Devido ao curto período das simulações (21 dias), as médias das *PREC* não conseguiram registrar os principais padrões das precipitações, contudo são registrados três núcleos de precipitações intensas localizados no oceano Índico, no oeste do oceano Pacífico e no oeste do Caribe. As médias conseguiram registrar também as precipitações sobre a Amazônia Ocidental e sobre a África Equatorial.

As Figuras 4.57 (b), (d) e (f) mostram as comparações das médias das *PREC* entre os experimentos *Exp1*, *Exp2* e *Exp3*. Em relação ao balanço radiativo, comparando as anomalias das *PREC* com as anomalias das *OCIS*, são notados que nas regiões onde houveram aumentos das precipitações, as taxas das radiações incidentes diminuiram. Essas comparações são válidas também para as anomalias das *OCAS*, *OLIS* e *ROLE*.

Em relação ao balanço de energia, comparando as anomalias das *PREC* com as anomalias das *TEMS* e *TEMP*, são notadas que existem semelhanças entre as áreas das anomalias positivas das *TEMS* com os aumentos das precipitações, principalmente sobre os oceanos. Isto ocorre também com as anomalias positivas das *TEMP* nos baixos níveis. Nos médios e altos níveis existe uma inversão destes padrões. Nestes casos, os aquecimentos nos baixos níveis, aliados aos resfriamentos em médios e altos níveis favorecem os movimentos convectivos.

Comparando as anomalias das *PREC* com as anomalias das *CSSF* e também das *CLSF*, são notadas semelhanças entre os máximos dos fluxos de calor e os máximos das precipitações. No primeiro caso, as *CSSF* contribuem para os movimentos convectivos, enquanto que no segundo caso as *CLSF* aumentam a disponibilidade da umidade.

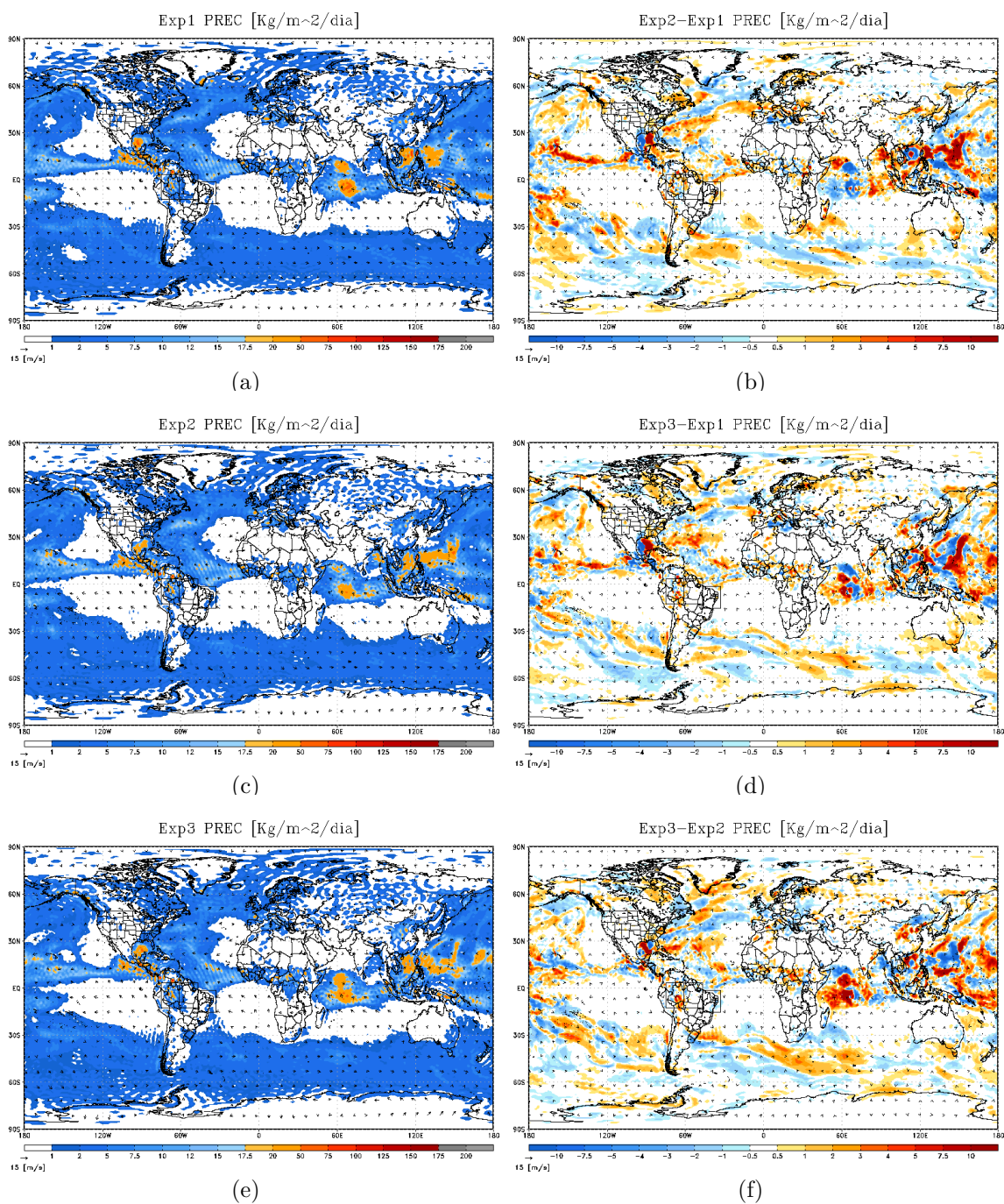


Figura 4.57 - Precipitação total (*PREC*). Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) *Exp2 - Exp1*, (d) *Exp3 - Exp1*, (f) *Exp3 - Exp2*.

A Tabela 4.16 mostram as médias das *PREC* integradas nas áreas das análises. Globalmente as *PREC* diminuíram em *Exp2 - Exp1*, e aumentaram em *Exp3 - Exp1*. Sobre a Caatinga houve um aumento das precipitações em ambos os casos. Em especial, as precipitações diminuíram sobre a Amazônia Oriental, enquanto que aumentaram sobre a Amazônia Ocidental.

Tabela 4.16 - Precipitação total – *PREC*. As médias são integradas dentro das áreas de análises. Valores em $kg.m^{-2}.dia^{-1}$.

<i>PREC</i>	<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 – Exp1</i>	<i>Exp3 – Exp1</i>	<i>Exp3 – Exp2</i>	
média	Glb	1.85936E+05	1.85867E+05	1.86008E+05	-6.93594E+01	7.19063E+01	1.41266E+02
	Ctg	1.28175E+02	2.10689E+02	1.75295E+02	8.25143E+01	4.71202E+01	-3.53941E+01
	Am1	4.06363E+02	3.91552E+02	3.83215E+02	-1.48106E+01	-2.31478E+01	-8.33719E+00
	Am2	1.29176E+03	1.52351E+03	1.49411E+03	2.31749E+02	2.02355E+02	-2.93934E+01

4.2.10 – Comparando a precipitação convectiva.

No *MCGA*, a Precipitação Convectiva – *PRCV*, foi estimada pelo esquema de convecção profunda do tipo *Grell*. As Figuras 4.58 (a), (c) e (e) mostram as médias das *PRCV* para todos os experimentos. Como descrito na seção 4.2.9, o curto período das simulações impedem uma melhor representação dos sistemas precipitativos. Contudo os máximos das precipitações registrados pelas médias das *PRCV* são iguais aos encontrados nas *PREC*.

As Figuras 4.58 (b), (d) e (f) mostram as comparações das médias entre os experimentos. Nessas comparações, as precipitações convectivas apresentam padrões idênticos aos das precipitações totais. Desta forma, as análises realizadas na seção 4.2.9 são válidas para descrever as *PRCV*.

A Tabela 4.17 mostra os comparativos entre as médias das *PRCV* integradas nas áreas de análises. Os valores globais indicam uma redução nas *PRCV* em *Exp2 – Exp1*, e eles indicam um aumento em *Exp3 – Exp1*. Isto concorda com os valores dos fluxos de calor latente mostrado na Tabela 4.15. Na Amazônia Oriental houveram reduções nas precipitações convectivas em ambas as comparações, enquanto que na Amazônia Ocidental houveram intensificações nas precipitações convectivas.

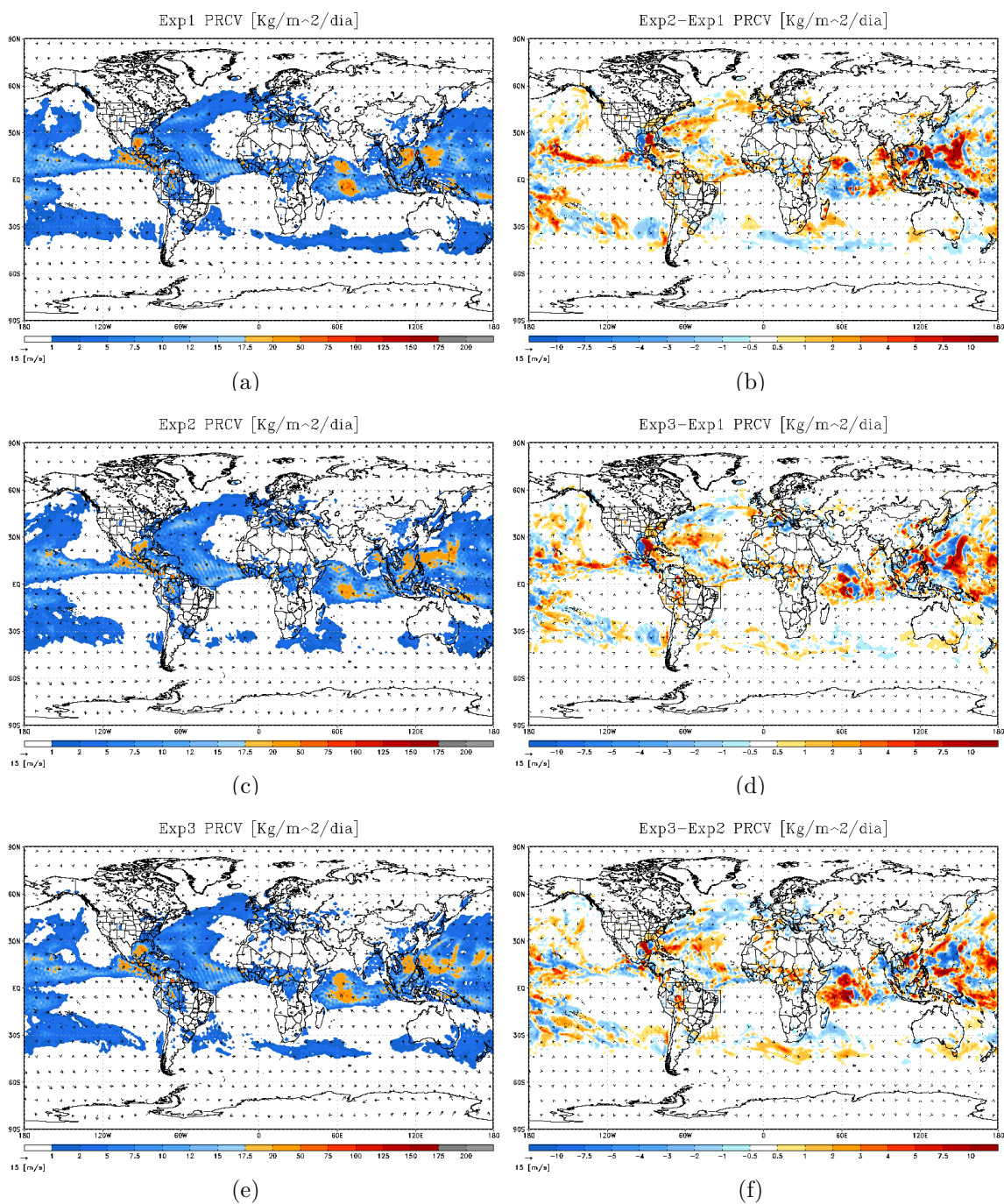


Figura 4.58 - Precipitação convectiva (*PRCV*). Médias: (a) *Exp1*, (c) *Exp2*, (e) *Exp3*. Diferenças: (b) $Exp2 - Exp1$, (d) $Exp3 - Exp1$, (f) $Exp3 - Exp2$.

Tabela 4.17 - Precipitação convectiva – *PRCV*. As médias são integradas dentro das áreas de análises. Valores em $kg.m^{-2}.dia^{-1}$.

<i>PRCV</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	$Exp2 - Exp1$	$Exp3 - Exp1$	$Exp3 - Exp2$
média	Glb	1.07003E+05	1.06807E+05	1.07422E+05	-1.95578E+02	4.19078E+02	6.14656E+02
	Ctg	5.24523E+01	9.34791E+01	9.45231E+01	4.10268E+01	4.20708E+01	1.04401E+00
	Am1	3.62659E+02	3.38224E+02	3.38634E+02	-2.44350E+01	-2.40256E+01	4.09454E-01
	Am2	1.24653E+03	1.45586E+03	1.45256E+03	2.09322E+02	2.06023E+02	-3.29895E+00

5 Validação da poeira

O capítulo 4 analisou a poeira estimada pelo *CCATT/MCGA* através dos campos de emissões, sedimentações gravitacionais, deposições secas e úmidas, e analisou também as interações entre a poeira e as radiações solares e terrestres através dos campos radiativos, das temperaturas, dos fluxos de calor, e das precipitações.

Este capítulo procura validar a poeira estimada pelo *CCATT/MCGA*, comparando os conteúdos de poeira transportada na atmosfera com dados de satélites e de superfície. Os efeitos das interações entre as classes de poeira e as radiações, são analisadas através das comparações entre os perfis de temperaturas estimadas e os dados de radiosondagens. Os conteúdos de poeira transportados na atmosfera são utilizados nestas comparações porque eles são as quantidades que efetivamente interagem com as radiações. As análises são realizadas sobre as regiões de Cabo Verde e Alta Floresta. A região de Cabo Verde foi escolhida devido aos intensos transportes de poeira provenientes do deserto do Saara em direção ao Oceano Atlântico. A região de Alta Floresta foi escolhida para analisar os transportes de poeira em direção a Amazônia.

As Figuras 4.45 e 4.46 mostram as evoluções temporais dos perfis dos transportes de poeira simulados sobre Cabo Verde e Alta Floresta, durante o período de 23 de setembro até 13 de outubro de 2010. Em Cabo Verde, são notados vários eventos de poeira intensos e sucessivos que ocorreram na baixa e média troposfera. Em Alta Floresta, os eventos de poeira apresentam padrões suaves, com destaques aos transportes de poeira nos altos e médios níveis. Estes eventos de poeira são descritos na Tabela 4.7. Com base nas características destes eventos de poeira, o evento do dia 05 de outubro de 2010 foi selecionado para uma análise mais detalhada, e desta forma, colaborar com a validação da parametrização da poeira dentro do *CCATT/MCGA*. Este evento de poeira ocorre nos três experimentos, mas apresenta distribuições verticais diferentes em cada um dos experimentos. Neste evento selecionado, os conteúdos de poeira e os perfis de temperatura simulados no *MCGA*, são comparados com:

- imagens *RGB-true color* obtida com dados do *MODIS-Aqua*.
- espessura óptica (*AOD*) estimada com dados do *MODIS-Aqua/Terra*.
- espessura óptica (*AOD*) estimada com dados do *AERONET*.
- perfis de retroespalhamento estimados com dados do *CALIOP/CALIPSO*.
- perfis de temperatura obtidos de radiosondagens sobre Alta Floresta.

A seção 5.1 mostra os conteúdos de poeira transportados sobre as regiões de Cabo Verde e Alta Floresta, durante o evento selecionado. A seção 5.2 mostra as imagens *RGB* e as espessuras ópticas estimadas com os dados do *MODIS*. A seção 5.3 mostra as espessuras ópticas obtidas com os dados do *AERONET*. Os perfis de retroespalhamento da poeira obtidos pelo *CALIOP* são mostrados na seção 5.4. E finalmente, a seção 5.5 mostra as comparações entre os perfis das temperaturas simuladas pelo *MCGA* com os perfis das temperaturas das radiosondagens.

5.1 – Transporte de poeira sobre Cabo Verde e Alta Floresta.

A emissão de poeira no *CCATT/MCGA* depende do vento na superfície e da umidade do solo. A intensidade do vento na superfície oscila ao longo do dia, respondendo em grande parte as variações dos fluxos de calor sensível e latente que ocorrem devido ao aquecimento solar. Os transportes verticais e horizontais da poeira acompanham estas oscilações. Além disso, eventos sinóticos podem sobrepor o ciclo diurno e provocar emissões de poeira de modo contínuo durante longos períodos, e promovendo o transporte da poeira por grandes distâncias.

O evento de poeira ocorrido no dia 05 de outubro de 2010 foi selecionado devido ao intenso transporte de poeira sobre a região de Cabo Verde, como visto nas simulações do *CCATT/MCGA*. A evolução deste evento é analisado dentro do período das 0Z de 4 de outubro até 12Z de 6 outubro de 2010, com intervalos de 12 horas. A área das análises abrangem tanto a região de Cabo Verde quanto de Alta Floresta, com limites geográficos em: 85W a 25E e 20S a 45N.

O imageamento do *MODIS* captura as refletividades e emissividades das superfícies e dos constituintes atmosféricos dentro do volume de amostragem de cada *pixel*, e integra estes valores para cada faixa de comprimento de onda. Posteriormente, estas informações são utilizadas para editar as imagens em *RGB*, e também para estimar as espessuras ópticas. Desta forma, tanto as imagens *RGB*, quanto as espessuras ópticas representam o conteúdo total das colunas atmosféricas. No *CCATT/MCGA*, os conteúdos de poeira estão distribuídos em 18 níveis de pressão. Para comparar os conteúdos de poeira do *CCATT/MCGA* tanto com as imagens *RGB*, quanto as espessuras ópticas, os conteúdos de poeira foram integrados na vertical, desde o nível de 925mb até 200mb, resultando em uma camada única contendo praticamente toda a quantidade de poeira da coluna atmosférica.

As Figuras 5.1 (a)-(f) mostram os conteúdos totais de poeira simulados no experimento *Exp1*, sobre Cabo Verde e Alta Floresta. As emissões e os transportes de poeira sobre o deserto do Saara são fenômenos praticamente contínuos. Ocasionalmente, uma grande quantidade de poeira é transportada para o Oceano Atlântico, como mostrado neste caso sobre a região de Cabo Verde. Nesta sequência temporal, é possível visualizar também os transportes de poeira proveniente da África chegando nas regiões litorâneas da Amazônia e do Nordeste. Sobre a região de Alta Floresta (sul da Amazônia), os conteúdos de poeira sofrem influências tanto da poeira proveniente da África quanto das fontes localizadas no oeste dos Andes.

Para o experimento *Exp2*, os conteúdos totais de poeira integrados na vertical que ocorreram no evento do dia 5 de outubro de 2010, são mostrados nas Figuras 5.2 (a)-(f). Em comparação com o conteúdo total da poeira transportada no experimento *Exp1*, os padrões apresentam algumas modificações, principalmente nos formatos dos núcleos intensos sobre a região de Cabo Verde. Os padrões dos transportes de poeira em direção a Amazônia também apresentam algumas modificações, destacando o deslocamento meridional das plumas de poeira provenientes da África, e a redução na intrusão destas plumas sobre o norte e nordeste do Brasil. A região de Alta Floresta passou a receber influência basicamente da poeira proveniente do oeste dos Andes.

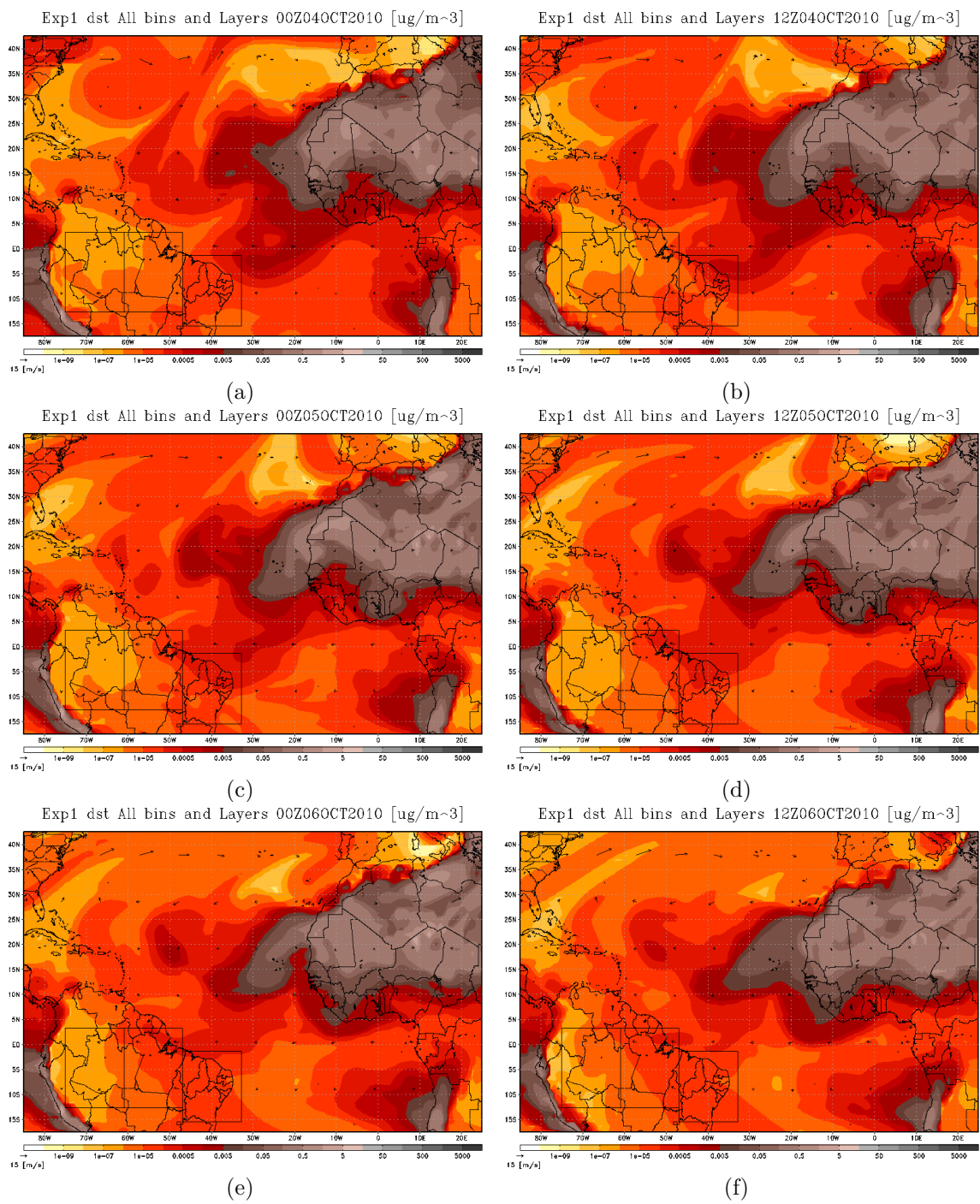


Figura 5.1 - Total da poeira na atmosfera sobre Cabo Verde e Alta Floresta: *Exp1*. (a) 00z 04/10/2010. (b) 12z 04/10/2010. (c) 00z 05/10/2010. (d) 12z 05/10/2010. (e) 00z 06/10/2010. (f) 12z 06/10/2010.

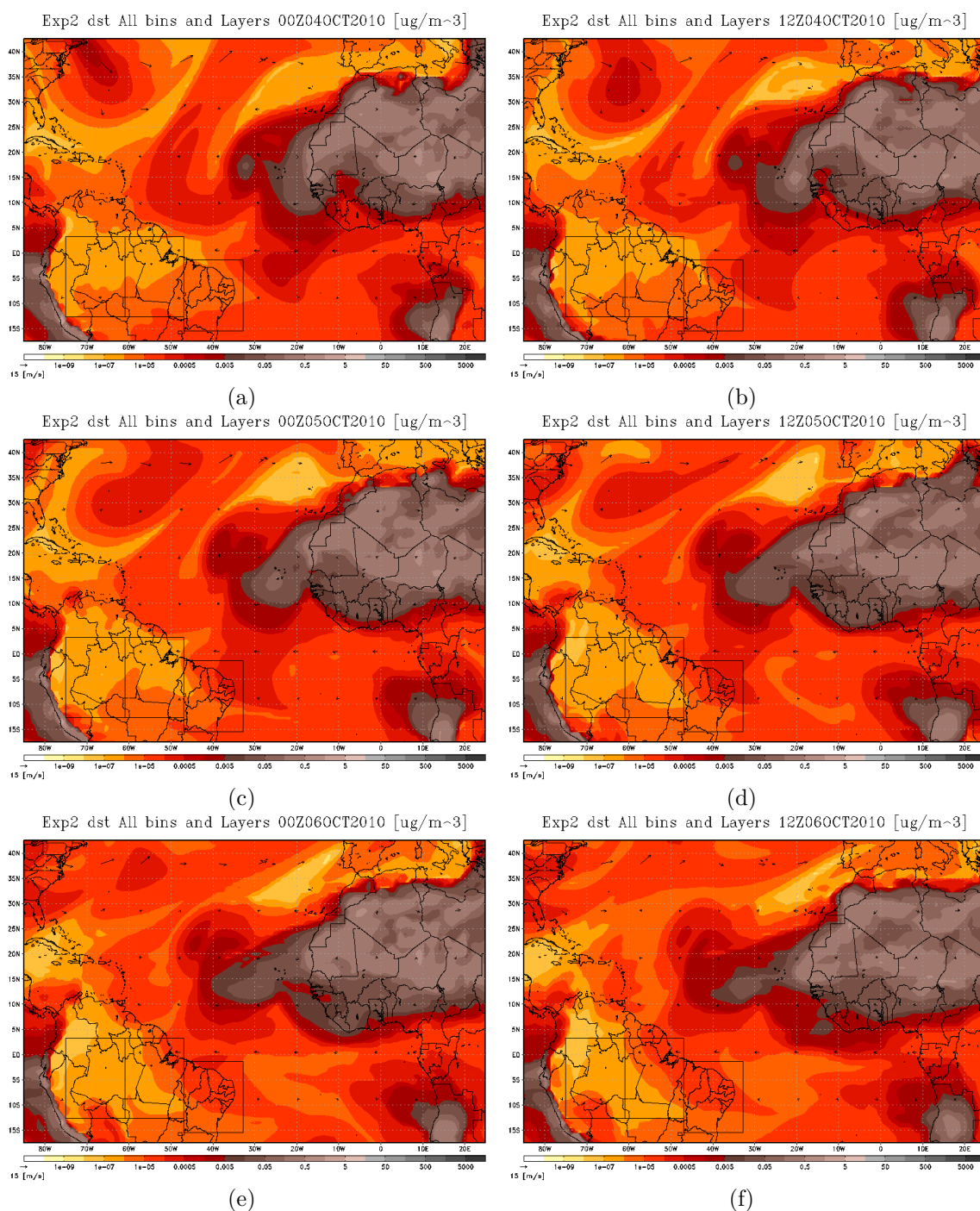


Figura 5.2 - Total da poeira na atmosfera sobre Cabo Verde e Alta Floresta: *Exp2*. (a) 00z 04/10/2010. (b) 12z 04/10/2010. (c) 00z 05/10/2010. (d) 12z 05/10/2010. (e) 00z 06/10/2010. (f) 12z 06/10/2010.

Os conteúdos totais de poeira extraídos do experimento *Exp3*, são mostrados nas Figuras 5.3 (a)-(f). Neste experimento, a região da Caatinga é considerada como uma fonte em potencial de emissão de poeira. Os padrões dos transportes de poeira provenientes do norte da África é semelhante ao experimento controle, porém apresenta algumas modificações nos formatos dos núcleos intensos. A inclusão da Caatinga como fonte de emissão de poeira alterou profundamente os padrões de transportes de poeira em direção a Amazônia, pois adicionou uma componente regional de poeira

às componentes remotas do norte da África e da América do Sul. Isto intensificou o conteúdo de poeira sobre a região da Amazônia, incluindo Alta Floresta.

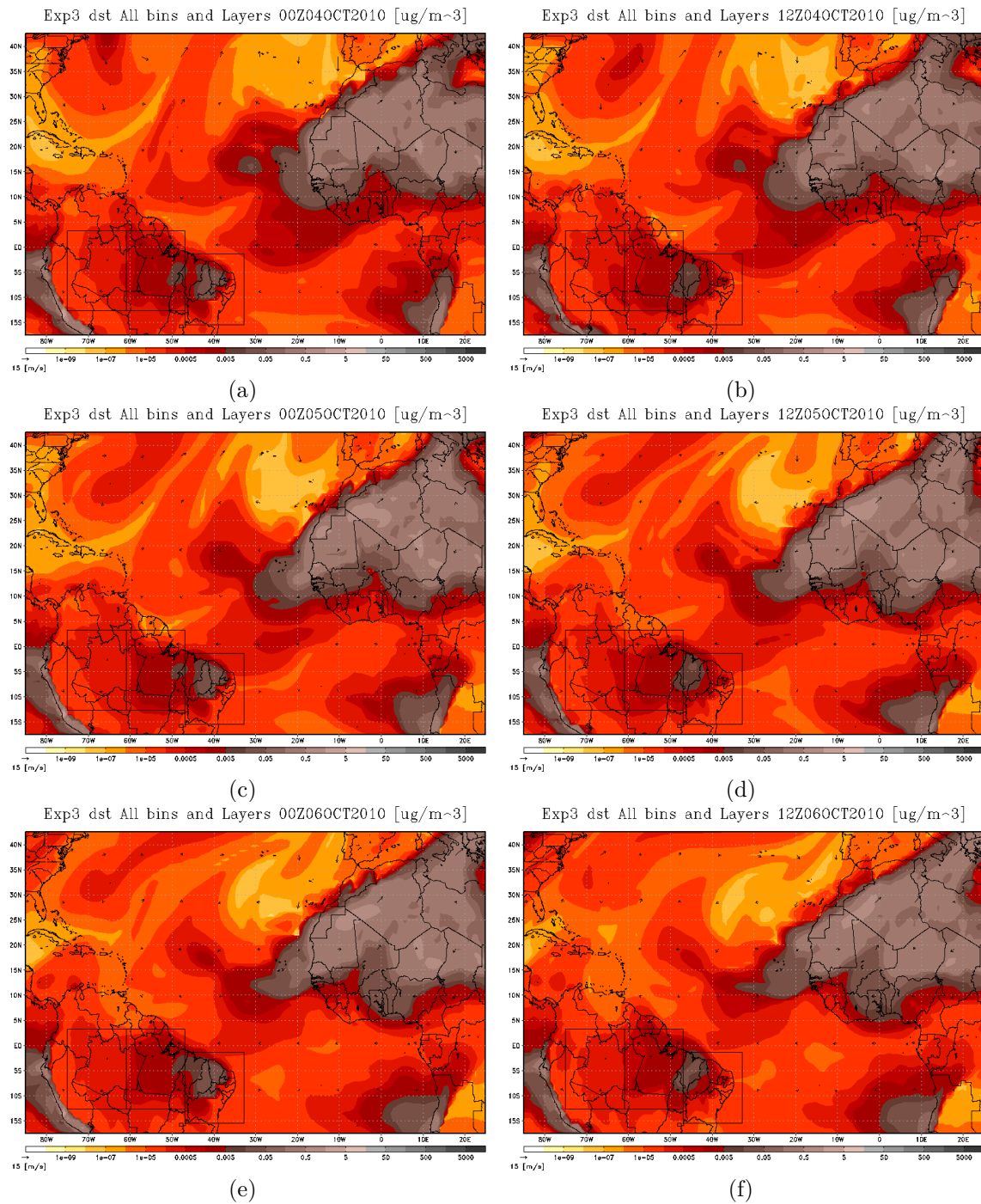


Figura 5.3 - Total da poeira na atmosfera sobre Cabo Verde e Alta Floresta: *Exp3*. (a) 00z 04/10/2010. (b) 12z 04/10/2010. (c) 00z 05/10/2010. (d) 12z 05/10/2010. (e) 00z 06/10/2010. (f) 12z 06/10/2010.

5.2 – Validação com dados do *MODIS*.

A poeira na atmosfera pode ser detectada com o uso de sensores remotos a bordo de satélites. Sobre superfícies opacas, como nos oceanos, a refletividade da luz solar medida pelos sensores passivos pode ser atribuída aos aerossóis presente na atmosfera, incluindo a poeira. Sobre as regiões com altos valores de albedo, como nos desertos ou no *sunlint*, a alta refletividade da superfície sobrepõe a refletividade da poeira na atmosfera, o que dificulta a sua identificação.

5.2.1 – Validação da poeira com imagens *RGB* do *MODIS*.

Nesta seção, as imagens do *MODIS* (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) são utilizadas para confirmar a presença da poeira na atmosfera, com ênfase sobre a região de Cabo Verde. Os dados do *MODIS* foram obtidos em http://ladsweb.nascom.nasa.gov/browse_images/global_browser.html.

As Figuras 5.4 (a), (c), e (e) mostram os recortes abrangendo as regiões de Cabo Verde e Alta Floresta. Estes recortes foram extraídos dos mosaicos dos imageamentos do *MODIS-Aqua*. As Figuras 5.4 (a) e (b) são para o dia 04/10/2010, (c) e (d) são para o dia 05/10/2010, (e) e (f) são para o dia 06/10/2010. Estas imagens permitem visualizar uma pluma de poeira proveniente do deserto do Saara que se desloca sobre a região de Cabo Verde em direção ao oceano Atlântico. A sequência das imagens da coluna da direita mostra em detalhes o deslocamento desta pluma de poeira.

Estas imagens foram editadas em *RGB-true color* utilizando as bandas espectrais: 1 ($0,620 - 0,670\mu m$), 4 ($0,545 - 0,565\mu m$) e 3 ($0,459 - 0,479\mu m$), para compor as cores vermelho (R), verde (G) e azul (B). No *MODIS*, estas bandas espectrais estão localizadas na faixa do comprimento de onda do visível e são específicas para analisar as superfícies dos continentes, nuvens e aerossóis. As plumas de poeira que aparecem nestas imagens *RGB* possuem baixos brilhos e contrastes. Elas apresentam um aspecto leitoso e de cor levemente bege. Estas características demonstram a baixa refletividade das plumas de poeira. Em geral, as plumas de poeira ocorrem na baixa troposfera e sob uma atmosfera seca. A medida que as partículas de poeira são encapsuladas pelas gotículas de água, a sua refletividade aumenta, e seu aspecto se torna igual ao das nuvens.

Estes mosaicos são as composições dos imageamentos feitos pelo sensor *MODIS*, com todas as órbitas ascendentes do satélite *Aqua* ao longo do dia. Devido a estas órbitas serem síncronas com a iluminação solar, a combinação do ângulo de varredura do *MODIS* com o ângulo de reflexão solar nas superfícies dos corpos de águas, principalmente sobre os oceanos equatoriais, induz no imageamento áreas com excesso de refletividade, conhecido como *sunlint*. Este efeito aparece nas imagens *RGB* como áreas com aspectos semelhantes aos das plumas de poeira. Contudo, para este tipo de imageamento, as áreas afetadas pelo *sunlint* apresentam formas lineares ao longo da trajetória do satélite.

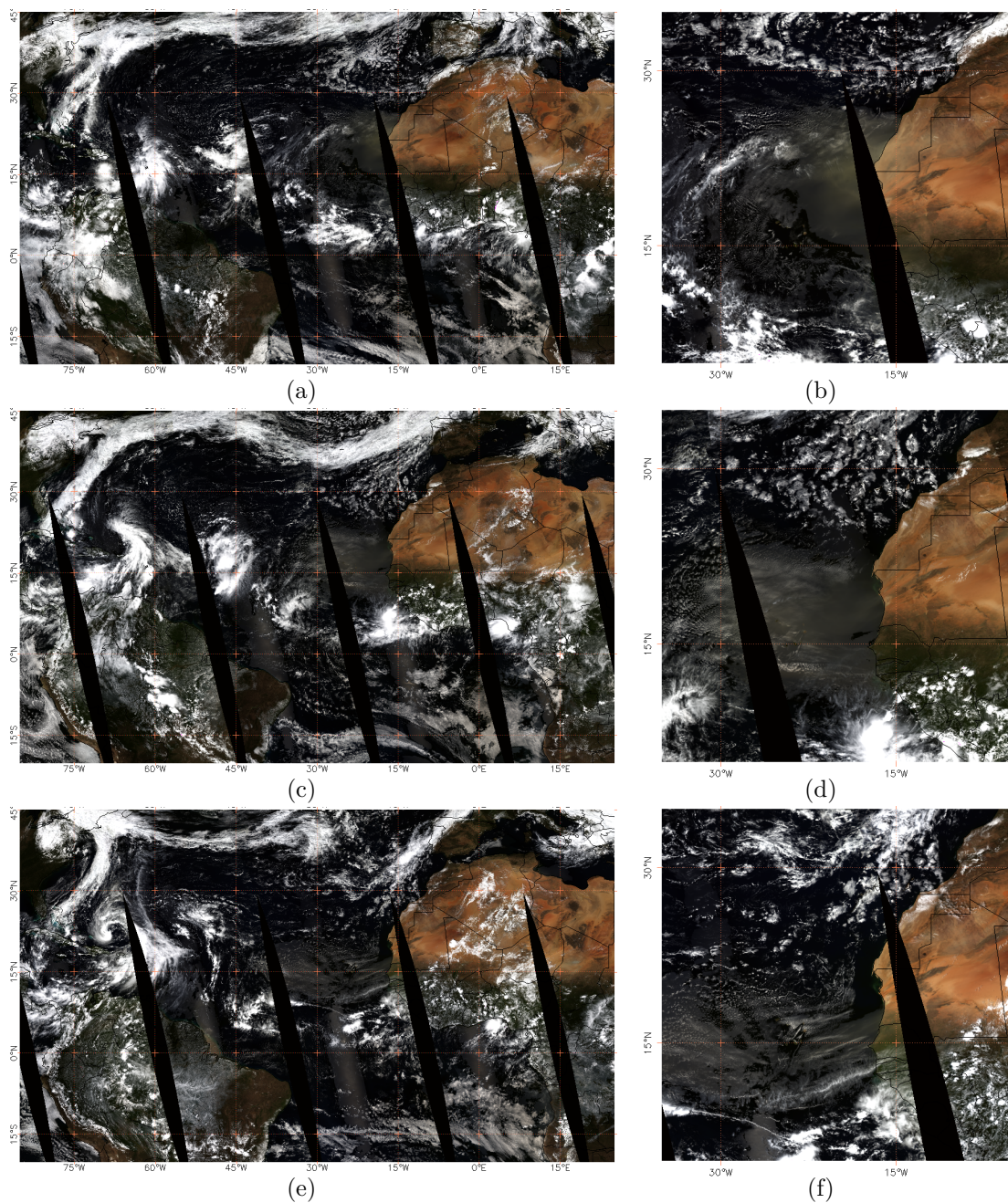


Figura 5.4 - Pluma de poeira sobre o oeste da África. Esquerda: Recorte do mosaico dos imageamentos *MODIS-Aqua* para os dias: (a) 04/10/2010, (c) 05/10/2010 e (e) 06/10/2010. Direita: Pluma sobre Cabo Verde.

5.2.2 – Validação da poeira com *AOD-MODIS*.

Os gases e os aerossóis alteram a espessura óptica da atmosfera. Nesta seção, a espessura óptica estimada com os dados do *MODIS* é utilizada para validar o padrão do conteúdo de poeira simulado pelo *CCATT/MCGA*.

A espessura óptica do *MODIS* utilizada nestas análises é a média entre os campos diários da

espessura óptica estimada com os imageamentos dos *MODIS* nos satélites *Terra* e *Aqua*. O período utilizado para a média é de 23 de setembro até 13 de outubro de 2010. A espessura óptica média é mostrada na Figura 5.5 (a). Os dados foram obtidos em http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=aerosol_daily, opções Terra-MODIS/Aqua-MODIS: *Aerosol Optical Depth at 550 nm, MOD08_D3.051, e MODIS-Terra Ver. 5.1.*

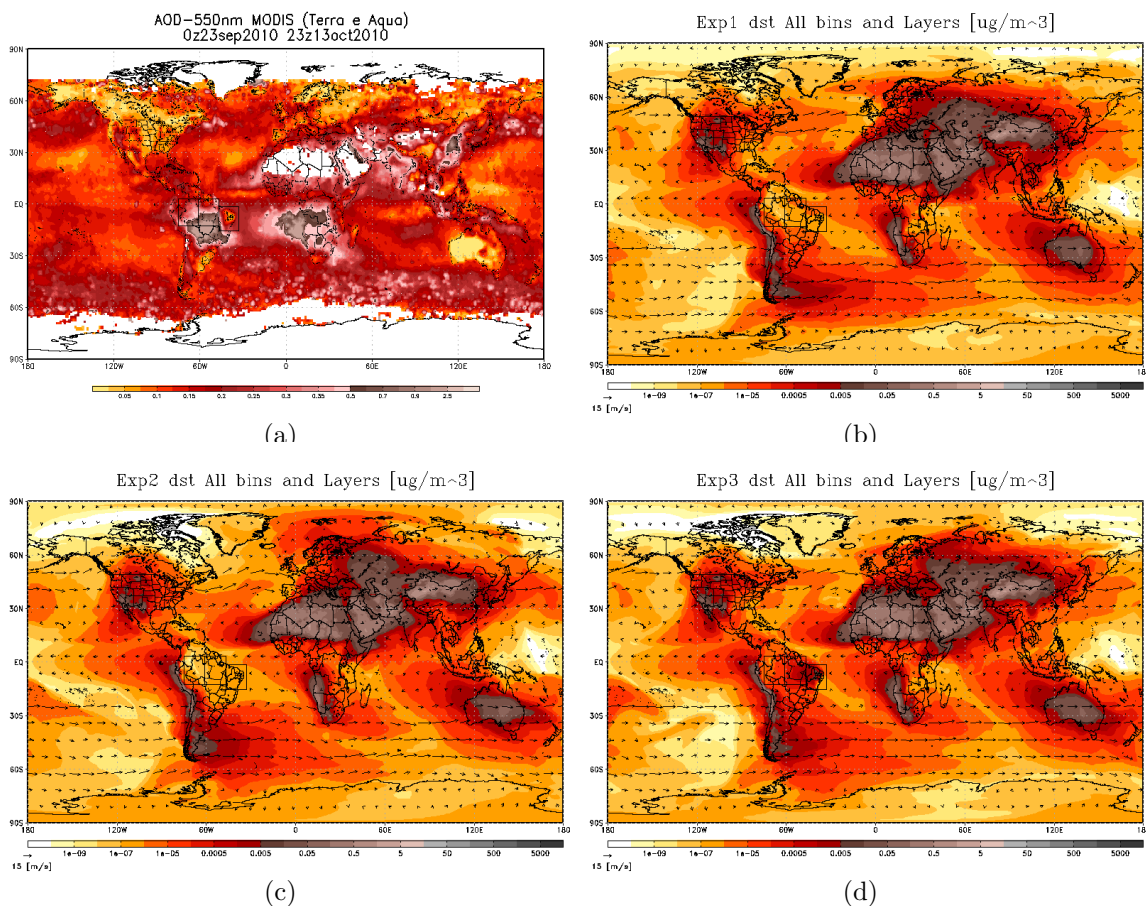


Figura 5.5 - Espessura óptica média *AOD-MODIS*. (a) Estimativas a partir dos dados do *MODIS-Terra/Aqua*. (b)-(d) Conteúdo de poeira integrado na vertical *MCGA*: *all bins, Exp1, Exp2* e (d) *Exp3*. Período de análise é de 23/09/2010 até 13/10/2010.

A espessura óptica representa a atenuação da radiação pelos gases e aerossóis presentes na coluna atmosférica. A espessura óptica média foi interpolada na resolução da grade das simulações do *CCATT/MCGA* para facilitar as análises. Para comparar o conteúdo de poeira simulado no *CCATT/MCGA* com a espessura óptica média, o conteúdo de poeira média foi integrado tanto na vertical como entre todas as classes de poeira. Os conteúdos de poeira médios integrados são mostrados nas Figuras 5.5 (b), (c) e (d).

A espessura óptica é um bom indicador da presença de altas concentrações de gases e aerossóis na atmosfera, incluindo a poeira. Infelizmente, o período de análise coincide com o ápice da temporada de queimadas no interior da América do Sul e no sudoeste da África (período de estiagem nestas regiões). A presença dos gases das queimadas é notada pelos altos valores de espessura óptica nestas regiões. Este fato sobrepõe a contribuição da poeira na espessura óptica. Note que os eventos de

poeira sobre a região de Cabo Verde possuem valores máximos próximos a 0.35, o que é uma ordem de grandeza abaixo dos valores dos gases das queimadas. E o padrão de distribuição da espessura óptica nesta região coincide com o padrão do conteúdo integrado da poeira simulada pelo *CCATT/MCGA*. No sul dos oceanos Pacífico e Índico, e no norte dos oceanos Atlântico e Pacífico os valores de espessura óptica provavelmente é devido aos gases das fontes biogeoquímicas e antrópicas, e desta forma não aparecem nos campos médios do conteúdo de poeira integrado.

Os eventos minoritários de emissão de poeira que podem ocorrer na Caatinga, provavelmente apresentariam valores próximo a zero nestas estimativas do *MODIS*. Em geral, existe uma grande dificuldade da estimativa da espessura óptica sobre superfícies muito reflectivas como os desertos e os semiáridos. Nestes casos, o forte albedo destas superfícies inibem as contribuições dos aerossóis presentes na coluna atmosférica.

5.3 – Validação com dados do *AERONET*.

A espessura óptica também pode ser obtida através de medidas feitas a partir da superfície. A rede *Aerosol Robotic Network-AERONET* é um programa de estudos das propriedades ópticas, microfísicas e radiativas dos aerossóis. As espessuras ópticas estimadas pelo *AERONET* foram utilizados para validar o conteúdo de poeira sobre as localidades de Cabo Verde e de Alta Floresta.

As Figuras 5.6 (a) e (c) mostram as séries temporais das espessuras ópticas para o mês de outubro de 2010, para as localidades de Cabo Verde e Alta Floresta. As Figuras 5.6 (b) e (d) mostram as espessuras ópticas para o dia 05 de outubro de 2010, para as mesmas localidades. Esta figuras foram obtidas em <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>, parâmetros de seleção: *AOD*, *level 2.0*, Ano: 2010, Mes: *oct*, e dia: 05.

O evento de poeira ocorrido no dia 05 de outubro de 2010 sobre Cabo Verde, pode ser visto pelos máximos de espessuras ópticas nas Figuras 5.6 (a) e (b). Outros dois eventos ocorreram também ao longo deste mês, mas com menos intensidade e com intervalos de 9 dias entre eles. Nesta localidade, as medidas foram efetuadas em 4 canais espectrais: 0,440 μm , 0,675 μm , 0,870 μm e 1,020 μm . As medidas mostram um comportamento uniforme entre os canais, indicando que estes aerossóis podem ter composições semelhantes entre si, como no caso das plumas de poeira.

Em Alta Floresta, as espessuras ópticas são mostradas em 7 canais espectrais: 0,340 μm , 0,380 μm , 0,440 μm , 0,500 μm , 0,675 μm , 0,870 μm e 1,020 μm . Apesar das falhas nas medidas ao longo do mês, os máximos são mais intensos do que os máximos registrados sobre Cabo Verde. E os canais espectrais registram comportamentos distintos entre si. Isto indica a existência de diferentes tipos de aerossóis, como ocorrem nas queimadas.

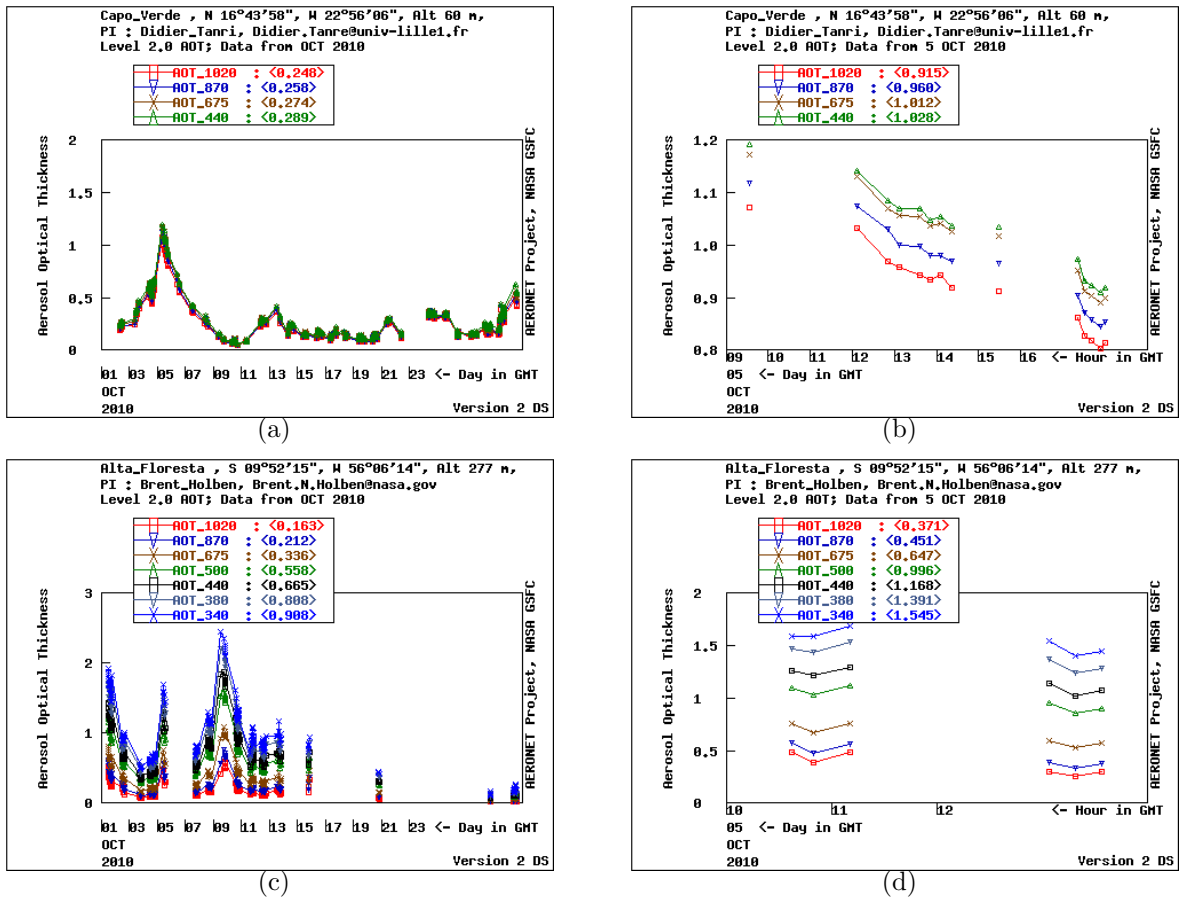
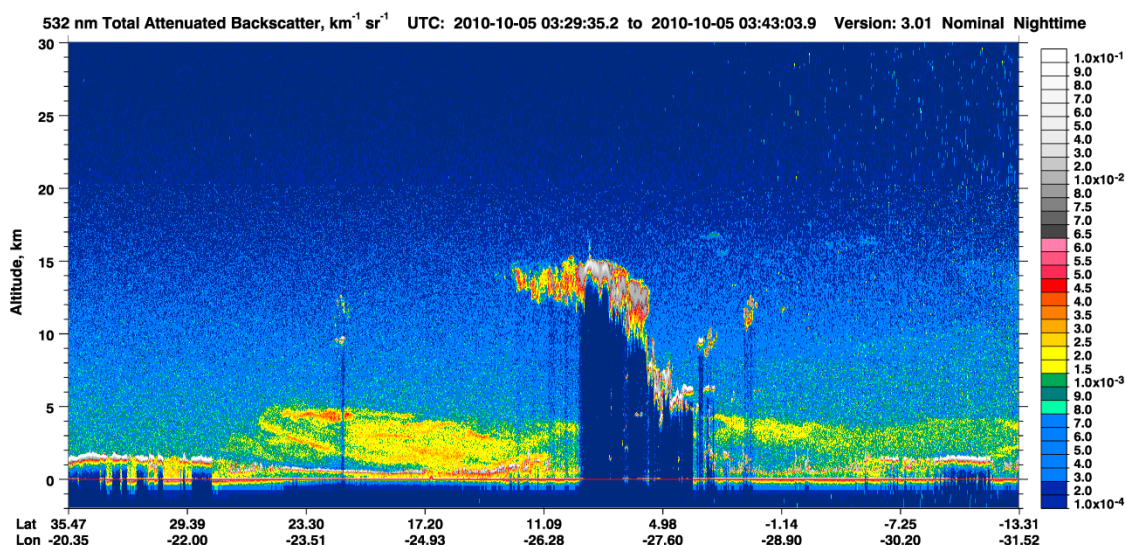


Figura 5.6 - Espessura óptica estimada pelo *AERONET*. mensal, outubro/2010: (a) Cabo Verde, (c) Alta Floresta. diário, 05/10/2010: (b) Cabo Verde, (d) Alta Floresta.

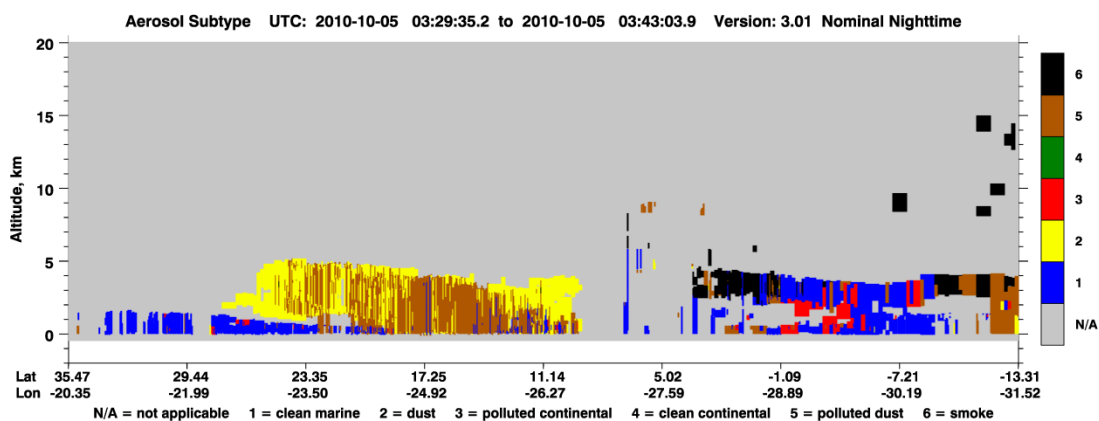
5.4 – Validação da poeira com imagens do *CALIOP*.

Atualmente o estado da arte na detecção dos aerossóis é através de sensores remotos ativos como o *Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization-(CALIOP)*. Este *Radar Laser (Lidar)* está a bordo do satélite *Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite-(CALIPSO)*. Ele trabalha nos comprimentos de onda de $0,532 \mu m$ e $1,064 \mu m$, e tem o objetivo de auxiliar a compreensão da distribuição vertical dos aerossóis. Os perfis verticais dos aerossóis estimados pelo *CALIOP* são usados para validar as distribuições verticais dos conteúdos de poeira estimados pelo *CCATT/MCGA*.

A Figura 5.7 (a) mostra os perfis de retroespalhamentos dos aerossóis imageados pelo *CALIOP*. A Figura 5.7 (b) mostra as classificações dos aerossóis destes perfis. Nesta imagem, a pluma de poeira (classe 2, cor amarela) se encontra próximo a Cabo Verde, entre as latitudes de $N30$ a $N10$ e longitudes de $W22$ a $W27$, e a uma altitude máxima de $5 km$. Esta figuras foram obtidas em www-calipso.larc.nasa.gov/tools/data_avail, seleção: ano 2010, mês *october*, dia 05. Seguindo pelo link “*LIDAR Standard Browse Images & Other Images*”, e selecionando o granulo desejado.



(a)



(b)

Figura 5.7 - Perfis de aerossóis do *CALIOP*. Granulo extraído da órbita ocorrida em 05/10/2010, com início as 03:16Z. (a) perfil de retroespalhamento. (b) classificação dos aerossóis. A pluma de poeira se encontra próxima da região de Cabo Verde.

A Figura 5.8 (a) mostra a localização do granulo dentro da órbita do *CALIPSO*. A órbita ocorreu no dia 05 de outubro de 2010, com início as 03:16Z. O granulo extraído da órbita tem início da sondagem as 03:30Z e término 03:45Z. As Figuras 5.8 (b), (d) e (f) mostram os perfis dos conteúdos de poeira simulados pelo *CCATT/MCGA*. Estes perfis foram extraídos nos pontos de grade semelhantes aos descritos na trajetória deste granulo. Foram utilizados somente os pontos geográficos (Lat e Lon) listados no rodapé da Figura 5.7 (c).

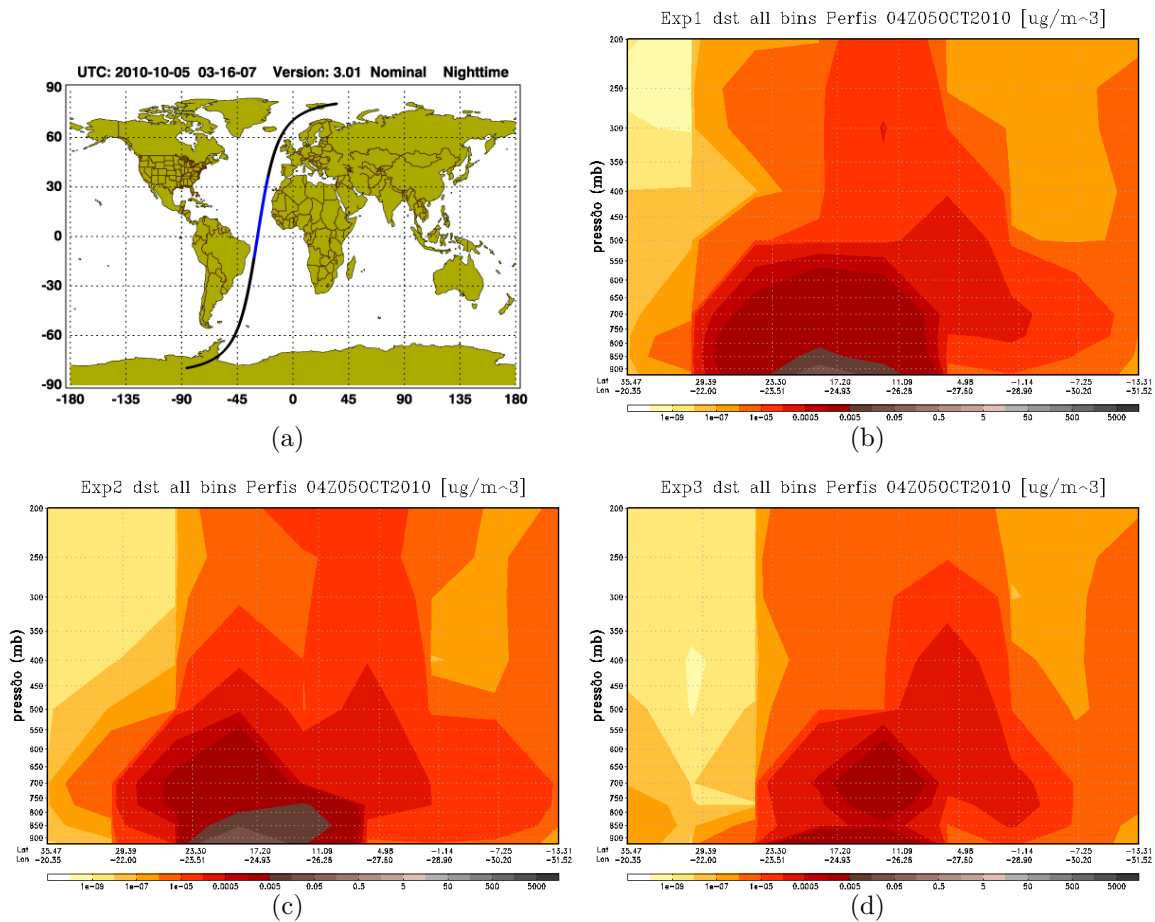


Figura 5.8 - Perfis do conteúdo de poeira do *MCGA*. Extraído entre os níveis de 925 a 200mb, às 04Z de 05/10/2010. (a) granulo da órbita do *CALIPSO*. (b) *Exp1*. (c) *Exp2*. (d) *Exp3*.

5.5 – Validação com dados de radiosondagens.

As seções 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 compararam os conteúdos da poeira simulados pelo *CCATT/MCGA* com as imagens *RGB*, as espessuras ópticas e os perfis de retroespalhamento. As comparações priorizaram o evento de poeira que ocorreu sobre a região de Cabo Verde no dia 05 de outubro de 2010. As análises demonstraram que o *CCATT/MCGA* conseguiu reproduzir este evento de poeira. Nesta seção os perfis de temperatura simuladas pelo *MCGA* são comparados com os perfis de temperaturas medidos pelas radiosondagens em Alta Floresta. O objetivo desta análise é avaliar como o acoplamento da poeira na radiação afeta os perfis de aquecimento na atmosfera.

Os perfis de temperatura das radiosondagens sobre Alta Floresta foram interpoladas para os mesmos níveis de pressão das simulações do *MCGA*, variando de 925 a 200mb. O método de interpolação utilizado foi dos vizinhos mais próximos, com a busca ocorrendo dentro de uma camada de $\pm 100mb$ de espessura. As radiosondagens foram obtidas em <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>, utilizando as opções de seleção: Região: *South America*; Tipo: *Text List*; número da estação: 82965. O período de análises é de 0z de 23 de setembro até 12z de 13 de outubro de 2010, com intervalos de 12 horas. As Figuras 5.9 (a), (b), (c) e (d) mostram os perfis da temperatura das radiosondagens

e das 3 simulações do *MCGA*, respectivamente.

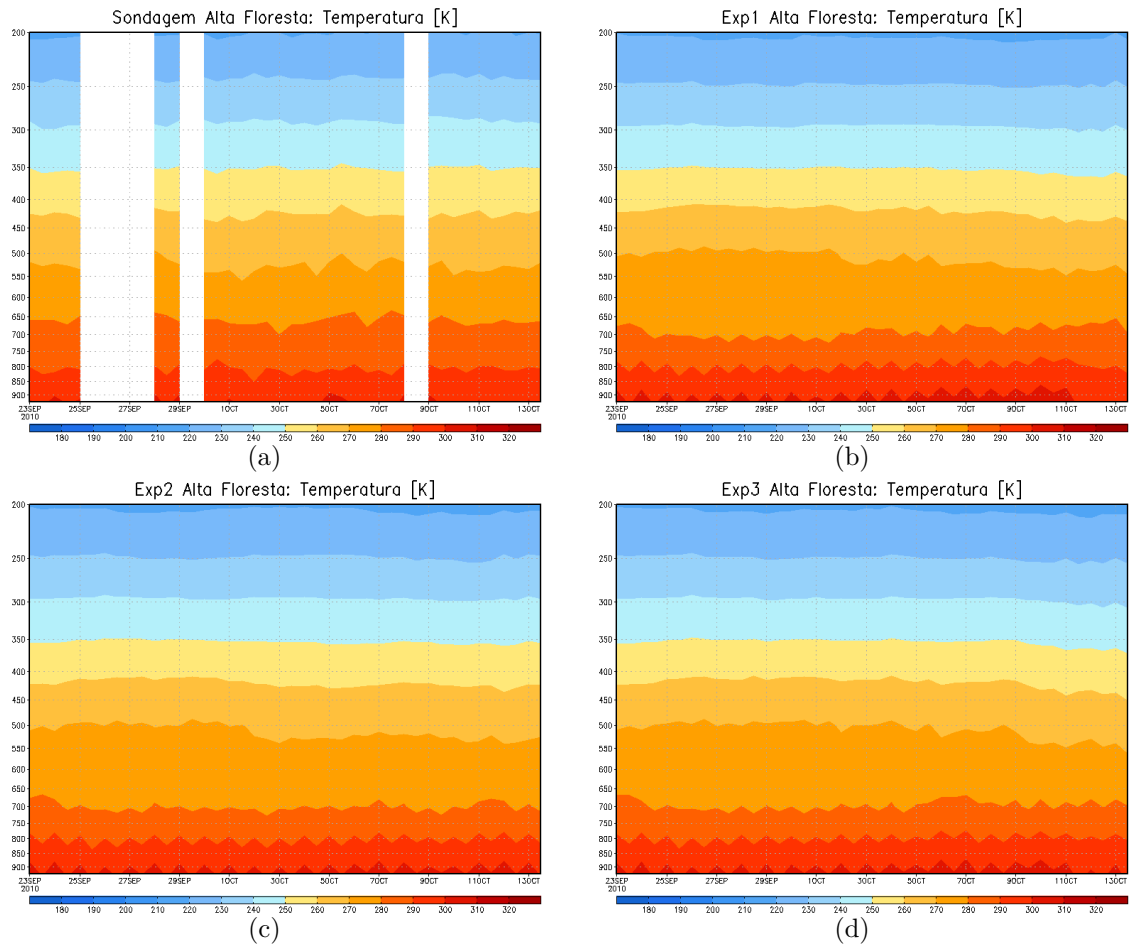
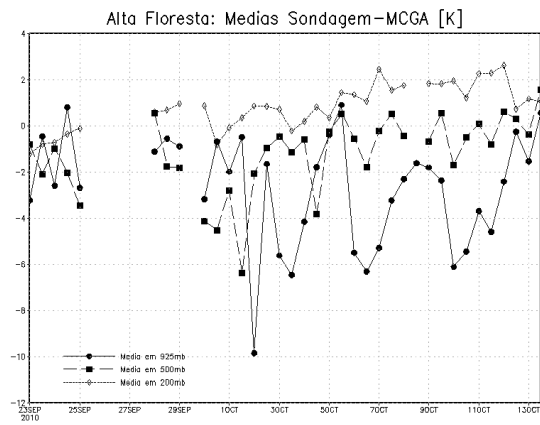
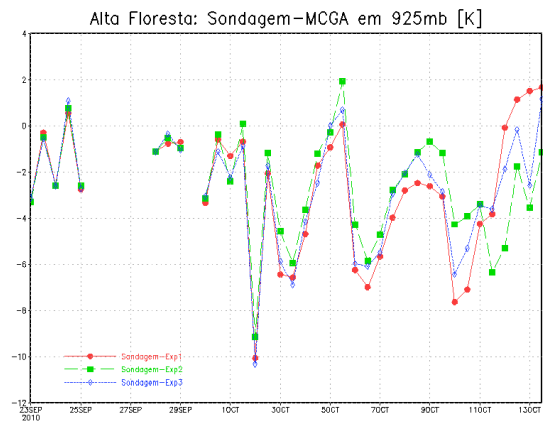


Figura 5.9 - Perfis da temperatura em Alta Floresta. (a) Sondagens. (b) *Exp1*. (c) *Exp2*. (d) *Exp3*.

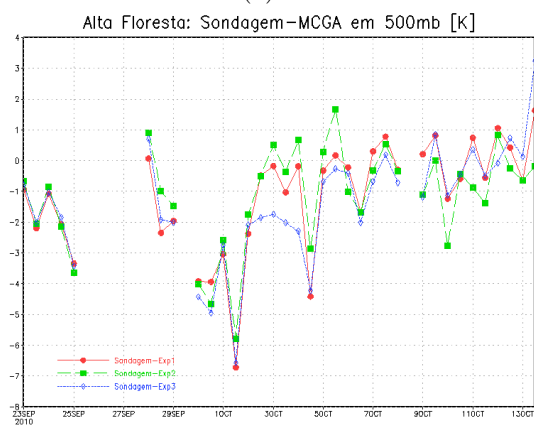
As Figuras 5.10 mostram as comparações entre as temperaturas das radiosondagens e as temperaturas das simulações do *MCGA* na localidade de Alta Floresta. As Figuras 5.10 (a), (b), (c) e (d) mostram respectivamente, as médias das diferenças entre as temperaturas, e as diferenças entre temperaturas para os níveis de pressão de 925, 500 e 200mb. As diferenças oscilaram em torno de de 12K para o nível de pressão de 925mb, de 9K para nível de pressão de 500mb, e de 4K para o nível de pressão de 200mb. As diferenças negativas indicam que as temperaturas das simulações estão acima dos valores medidos pelas radiosondagens. As variações abruptas positivas e negativas nestas diferenças das temperaturas, nos níveis de 925 e 500mb, mostram a influência da poeira no aquecimento da atmosfera. No nível de pressão de 200mb, onde a concentração de poeira é pequena, os resultados mostram um resfriamento.



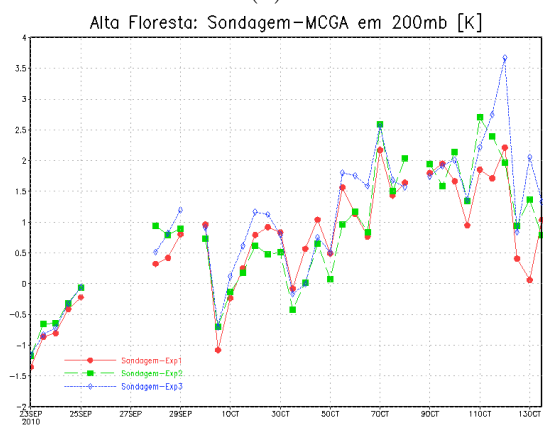
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.10 - Análise do perfil da temperatura em Alta Floresta. *Radiosondagem – MCGA*:
 (a) Médias das diferenças. (b) 925mb, (c) 500mb, (d) 200mb.

6 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi analisar os impactos das interações entre a poeira e as radiações solares e terrestres no *MCGA/CPTEC*, com enfoque na Amazônia. O objetivo adicional foi analisar o impacto da poeira sobre a Amazônia com a inclusão de fontes regionais de emissão na Caatinga.

Os processos envolvendo a poeira foram parametrizados no *CCATT*. As interações radiativas com os perfis de poeira ocorreram no *UKMO*. Os transportes foram realizados no *MCGA*. Os esquemas de emissão e sedimentação gravitacional são derivados do *GOCART*. O esquema da deposição seca é nativa no *CCATT*. A deposição úmida é um esquema simplificado para extração da poeira através do fluxo de massa dentro das nuvens. O acoplamento entre os perfis de poeira e as radiações ocorreram substituindo os perfis de poeira climatológicos pelos perfis estimados. O ciclo da poeira foi analisado através dos campos de emissões, das sedimentações gravitacionais, das deposições secas e úmidas, e dos conteúdos transportados na atmosfera.

As análises do ciclo da poeira mostraram que as emissões ocorrem sobre os principais desertos do planeta. Os processos das sedimentações gravitacionais e das deposições secas ocorrem principalmente sobre as regiões fontes e ao longo dos transportes da poeira, seguindo as correntes de ventos. As deposições úmidas dependem das precipitações, e ocorrem principalmente na região equatorial e tropical.

Um evento de poeira sobre Cabo Verde foi analisado com o objetivo de validar os processos de poeira parametrizados dentro do *CCATT/MCGA*. A concordância entre os eventos simulados e os dados medidos confirmaram a validade destas parametrizações.

As influências da poeira nos balanços de radiações e de energia foram analisados através dos campos das radiações de ondas curtas e longas, das temperaturas, dos fluxos de calor, e das precipitações.

No Globo Terrestre, as análises dos campos das radiações de ondas curtas e longas mostraram que os acoplamentos da poeira com as radiações aumentaram as quantidades das radiações de ondas curtas incidentes e absorvidas nas superfícies. Estas análises mostraram também as reduções nas quantidades das radiações de ondas longas incidentes e emitidas pelas superfícies. O saldo das radiações de ondas curtas e longas intensificaram os fluxos de calor sensível e latente (exceto no *Exp2*). Estes resultados mostraram também que as realimentações na dinâmica, resultantes das interações entre os conteúdos de poeira na atmosfera e as radiações, diminuíram as temperaturas da superfície e da atmosfera. Os resultados foram as reduções nas precipitações em *Exp2* (devido a redução no calor latente), e as intensificações das precipitações em *Exp3*.

Na Amazônia Oriental, as análises mostraram um aumento das incidências e absorções das radiações de ondas curtas, e reduções das incidências e emissões (exceto *Exp3*) das radiações de ondas longas. Os resultados mostraram uma diminuição das temperaturas das superfícies e da atmosfera, e mostraram também um aumento nos fluxos de calor sensível, porém com uma redução nos fluxos de calor latente. Esta redução nos fluxos de calor latente reduziram as precipitações.

Na Amazônia Ocidental, as análises mostraram uma redução nas quantidades das radiações de ondas curtas incidentes e absorvidas, e mostraram também um aumento nas quantidades das radiações de ondas longas incidentes nas superfícies, e uma redução nas quantidades emitidas no

topo da atmosfera. Os resultados mostraram uma redução nas temperaturas das superfícies e da atmosfera. Os fluxos de calor sensível diminuíram. E os fluxos de calor latente aumentaram em *Exp2*, e diminuíram em *Exp3*. Nesta área as precipitações aumentaram.

A hipótese da desertificação da Caatinga, e sua inclusão como uma fonte potencial de poeira, modificou os balanços de radiação e energia, modificando também os padrões das precipitações. Desta forma, esta hipótese demonstrou a importância que as regiões semiáridas podem assumir na emissão de poeira quando submetidas a secas prolongadas.

Esse trabalho indica que o efeito da poeira de solo pode ter um efeito significativo sobre o clima amazônico. Entretanto, conclusões mais robustas exigem simulações mais longas e, sobretudo, validação baseada na melhoria dos indicadores de destreza das previsões meteorológicas realizadas com o módulo de emissão de poeira ativado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRONOVA, A.; GOMES, L.; SMIRNOV, V.; IVANOV, A.; SHUKUROVA, L. Physico-chemical characteristics of dust aerosols deposited during the soviet-american experiment (tadzhikistan, 1989). **Atmospheric Environmental**, v. 27A, n. 16, p. 2487–2493, 1993. 4, 5, 6
- BAGNOLD, R. **The physics of blow sand and desert dunes**. New York: Methuen, 1941. 265 p. 11
- BALKANSKI, Y.; SCHULZ, M.; CLAQUIN, T.; GUIBERT, S. Reevaluation of mineral aerosol radiative forcings suggests a better agreement with satellite and aeronet data. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 7, n. 1, p. 81–95, 2007. Disponível em: <<http://www.atmos-chem-phys.net/7/81/2007/>>. 6
- BARROS, S. **Model formulation suited for semi-Lagrangian integration**. São José dos Campos, 2005. 20
- BELNAP, J.; GILLETTE, D. Vulnerability of desert biological soil crusts to wind erosion: the influences of crust development, soil texture, and disturbance. **Journal of Arid Environments**, v. 39, n. 2, p. 133–142, 1998. ISSN 0140-1963. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196398903883>>. 9
- CALLOT, Y.; MARTICORENA, B.; BERGAMETTI, G. Geomorphologic approach for modelling the surface features of arid environments in a model of dust emissions: application to the sahara desert. **Geodinamica Acta**, v. 13, n. 5, p. 245–270, 2000. ISSN 0985-3111. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0985311100010445>>. 11
- CAVALCANTI, I.; MARENGO, J.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.; TROSNIKOV, I.; BONATTI, J.; MANZI, A.; TARASOVA, T.; PEZZI, L.; D'ALMEIDA, C.; SAMPAIO, G.; CASTRO, C.; SANCHES, M.; CAMARGO, H. Global climatological features in a simulation using the cptec-cola agcm. **Journal of Climate**, v. 15, n. 21, p. 2965–2988, November 2002. 2, 19
- CHAGAS, J.; BARBOSA, H. **Incorporation of the UK Met office's radiation scheme into CPTEC's global model**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008. 86 p. 20
- CHAPMAN, S. Control structures and program design. In: WCB-MCGRAW-HILL (Ed.). **Fortran 90/95 for scientists and engineers**. 1. ed. Adelaide, South Australia: Tom Casson, 1998. cap. 3, p. 83–155. 23
- CHIN, M.; GINOUX, P.; KINNE, S.; TORRES, O.; HOLBEN, B.; DUNCAN, B.; MARTIN, R.; LOGAN, J.; HIGURASHI, A. Tropospheric aerosol optical thickness from the gocart model and comparisons with satellite and sunphotometer measurements. **Journal of Atmospheric Science**, v. 59, p. 461–483, 2002. 11
- CHIN, M.; ROOD, R.; LIN, S.; MÜLLER, J.; THOMPSON, A. Atmospheric sulfur cycle simulated in the global model gocart: model description and global properties. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, n. D20, p. 24671–24687, October 2000. 2, 13, 17
- CHOU, M.; SUAREZ, M. **A solar radiation parameterization (CLIRAD-SW) for atmospheric studies**. Greenbelt, Maryland: NASA/Goddard Space Flight Center, 1999. 38 p. 20

- CLAQUIN, T.; SCHULZ, M.; BALKANSKI, Y. J. Modeling the mineralogy of atmospheric dust sources. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 104, n. D18, p. 22243–22256, 1999. ISSN 2156-2202. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/1999JD900416>>. 6
- D'ALMEIDA, G. A model for saharan dust transport. **Journal of Climate Applied Meteorology**, v. 25, p. 903–916, 1986. 11
- DAVIES, R. **Documentation of the solar radiation parameterizations in the GLAS climate model**. Greenbelt, MD: Laboratory for Atmospheric Science, 1982. 57 p. 19
- DUBOVIK, O.; HOLBEN, B.; ECK, T.; SMIRNOV, A.; KAUFMAN, Y.; KING, M.; TANRÉ, D.; SLUTSKER, I. Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 59, february 2002. 7
- DUCE, R. Sources, distributions, and fluxes of mineral aerosols and their relationship to climate. **Aerosol forcing of climate**, John Wiley & Sons, Chichester, v. 6, p. 43–72, 1995. 1, 2, 11
- EDWARDS, J.; SLINGO, A. Studies with a flexible new radiation code. i: choosing a configuration for a large-scale model. **Quartely Journal of Royal Meteorological Society**, v. 122, p. 689–719, 1996. 2, 20
- EDWARDS, J.; THELEN, J.; INGRAM, W. The radiation code. In: **Unified Model Documentation**. Exeter, UK: UK Met Office, 2003. 20
- ENGELSTAEDTER, S.; TEGEN, I.; WASHINGTON, R. North african dust emissions and transport. **Earth-Science Reviews**, v. 79, n. 1-2, p. 73–100, 2006. ISSN 0012-8252. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001282520600081X>>. 11
- ERISMAN, J.; PUL, A. V.; WYERS, P. Parametrization of surface resistance for the quantification of atmospheric deposition of acidifying pollutants and ozone. **Atmospheric Environment**, v. 28, n. 16, p. 2595–2607, 1994. ISSN 1352-2310. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/1352231094904332>>. 16, 36
- FIGUEROA, S.; TARASOVA, T.; BARBOSA, H.; BONATTI, J.; DIAS, P. S. The impact of cumulus and radiation parameterization schemes on southern hemisphere summer climate simulated by cptec atmospheric general circulation model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY-ICSHMO, 8., 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brazil. **Proceedings...** São José dos Campos: INPE, 2006. p. 1037–1040. 19
- FLAGG, C.; NEFF, J.; REYNOLDS, R.; BELNAP, J. Spatial and temporal patterns of dust emissions (2004-2012) in semi-arid landscapes, southeastern utah, usa. **Aeolian Research**, v. 15, n. 0, p. 31–43, 2014. ISSN 1875-9637. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187596371300075X>>. 9
- FRASER, R. Optical thickness of atmospheric dust over tadjhikistan. **Atmospheric Environment. Part A. General Topics**, v. 27, n. 16, p. 2533–2538, 1993. ISSN 0960-1686. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096016869390026U>>. 7
- FREITAS, S.; LONGO, K.; DIAS, M. S.; CHATFIELD, R.; DIAS, P. S.; ARTAXO, P.; ANDREAE, M.; GRELL, G.; RODRIGUES, L.; FAZENDA, A.; PANETTA, J. The coupled aerosol and tracer transport model to the brazilian developments on the regional atmospheric

- modeling system (catt-brams)-part 1: model description and evaluation. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 9, n. 8, p. 2843–2861, 2009. Disponível em: <<http://www.atmos-chem-phys.net/9/2843/2009/>>. 16, 20, 21
- FREITAS, S.; LONGO, K.; RODRIGUES, L. Modelagem numérica da composição química da atmosfera e seus impactos no tempo, clima e qualidade do ar. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 188–207, 2009. 2, 16
- GEHR, P.; HEYDER, J. **Particle-lung interactions**. New York, Basel: Taylor & Francis e-Library, 2000. Disponível em: <<http://www.dekker.com>>. 8, 9
- GIERÉ, R.; QUEROL, X. Solid particulate matter in the atmosphere. **Elements**, v. 6, n. 4, p. 215–222, 2010. 3
- GILLETE, D.; PASSI, R. Modeling dust emission caused by wind erosion. **Journal of Geophysical Research**, v. 93, p. 14233–14242, 1988. 2, 14
- GILLETTE, D. **Environmental factors affecting dust emission by wind erosion: in Saharan dust**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1979. 71–94 p. 11
- GILLETTE, D.; BODHAINE, B.; MACKINNON, D. Transport and deposition of desert dust in the kafirnigan river valley (tadzhikistan) from shaartuz to esanbay: measurements and a simple model. **Atmospheric Environment. Part A. General Topics**, v. 27, n. 16, p. 2545–2552, 1993. ISSN 0960-1686. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096016869390028W>>. 7
- GINOUX, P.; CHIN, M.; TEGEN, I.; PROSPERO, J.; HOLBEN, B.; DUBOVIK, O.; LIN, S. Sources and distributions of dust aerosols simulated with the gocart model. **Journal of Geophysical Research**, v. 106, n. D17, p. 20255–20273, September 2001. 2, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 27, 34
- GINOUX, P.; PROSPERO, J.; TORRES, O.; CHIN, M. Long-term simulation of global dust distribution with the gocart model: correlation with north atlantic oscillation. **Environmental Modelling & Software**, v. 19, p. 113–128, 2004. 11
- GRELL, G.; DEVENYI, D. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 14, 10.1029/2002GL015311, 2002. 19, 43
- HAGEN, L.; SKIDMORE, E. Wind erosion and visibility problems. **Transactions of the ASAE**, v. 20, n. 5, 1977. 7
- HARSHVARDHAN; RANDALL, D.; CORSETT, T. A fast radiation parameterization for general circulation models. **Journal Geophysical Research**, v. 92, p. 1009–1016, 1987. 19
- HEATHCOTE, R. **The arid lands: their use and abuse**. Longman, London: John Wiley & Sons, 1983. 17
- HEYDER, J. Deposition of inhaled particles in the human respiratory tract and consequences for regional targeting in respiratory drug delivery. **Proceedings of the American Thoracic Society**, v. 1, p. 315–320, 12 2004. 8
- HOU, Y. **Cloud-radiation dynamics interaction**. 209 p. Tese (Doutorado) — University of Maryland, 1990. 19

HUNEEUS, N.; SCHULZ, M.; BALKANSKI, Y.; GRIESFELLER, J.; PROSPERO, J.; KINNE, S.; BAUER, S.; BOUCHER, O.; CHIN, M.; DENTENER, F.; DIEHL, T.; EASTER, R.; FILLMORE, D.; GHAN, S.; GINOUX, P.; GRINI, A.; HOROWITZ, L.; KOCH, D.; KROL, M.; LANDING, W.; X., L.; N., M.; R., M.; J.J., M.; MYHRE, G.; PENNER, J.; PERLWITZ, J.; STIER, P.; TAKEMURA, T.; ZENDER, C. Global dust model intercomparison in aerocom phase i. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 11, n. 15, p. 7781–7816, 2011. Disponível em: <<http://www.atmos-chem-phys.net/11/7781/2011/>>. 11

JAENICKE, R. Monitoring and critical review of the estimated source strength of mineral dust from the sahara. In: MORALES, C. (Ed.). **Saharan dust: mobilization, transport, deposition**. Gothenburg: John Wiley & Sons, 1979. cap. 12, p. 233–242. Disponível em: <http://dgc.stanford.edu/SCOPE/SCOPE_14/SCOPE_14.html>. 11

JICKELLS, T.; AN, Z.; ANDERSEN, K.; BAKER, A.; BERGAMETTI, G.; BROOKS, N.; CAO, J.; BOYD, P.; DUCE, R.; HUNTER, K.; KAWAHATA, H.; KUBILAY, N.; LAROCHE, J.; LISS, P.; MAHOWALD, N.; PROSPERO, J.; RIDGWELL, A.; TEGEN, I.; TORRES, R. Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate. **Science**, v. 308, n. 5718, p. 67–71, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/content/308/5718/67.abstract>>. 11

KAUFMAN, Y. Satellite sensing of aerosol absorption. **Journal of Geophysical Research**, v. 92, p. 4307–4317, 1987. 2

KAUFMAN, Y. J.; KOREN, I.; REMER, L.; TANRÉ, D.; GINOUX, P.; FAN, S. Dust transport and deposition observed from the terra-moderate resolution imaging spectroradiometer (modis) spacecraft over the atlantic ocean. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 110, n. D10, p. D10S12, 2005. ISSN 2156-2202. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2003JD004436>>. 11

KIEHL, J.; HACK, J.; BRIEGLEB, B. The simulated earth radiation budget of the national center for atmospheric research community climate model ccm2 and comparisons with the earth radiation budget experiment (erbe). **Journal of Geophysical Research**, v. 99, p. 20815–20827, 1994. 19

KING, M.; KAUFMAN, Y.; TANRÉ, D.; NAKAJIMA, T. Remote sensing of tropospheric aerosols from space: past, present, and future. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 80, p. 2229–2259, 1999. 2

KINTER, J.; DEWITT, D.; DIRMEYER, P.; FENNESSY, M.; KIRTMAN, B.; MARX, L.; SCHNEIDER, E.; SHUKLA, J.; STRAUS, D. **The COLA atmosphere-biosphere general circulation model: formulation**. Calverton, MD: COLA, 1997. 46 p. 19

KOK, J.; RENNO, N. Enhancement of the emission of mineral dust aerosols by electric forces. **Geophysical Research Letters**, v. 33, 2006. 8, 13

_____. Electrostatics in wind-blown sand. **Physical Review Letters**, January 2008. 2, 12

KUO, H. Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. **Journal of Atmospheric Science**, v. 31, p. 1232–1240, 1974. 19

LACIS, A.; HANSEN, J. A parameterization of the absorption of solar radiation in the earth's atmosphere. **Journal of Atmospheric Science**, v. 31, p. 118–133, 1974. 19, 20

LAWRENCE, C.; NEFF, J. The contemporary physical and chemical flux of aeolian dust: a synthesis of direct measurements of dust deposition. **Chemical Geology**, v. 267, p. 46–63, 2009. ISSN 0009-2541. Combined Ecological and Geologic Perspectives in Ecosystem Studies.

Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009254109000655>>. 5

LONGO, K.; FREITAS, S.; PIRRE, M.; MARÉCAL, V.; RODRIGUES, L.; PANETTA, J.; ALONSO, M.; ROSÁRIO, N.; MOREIRA, D.; GÁCITA, M.; ARTETA, J.; FONSECA, R.; STOCKLER, R.; KATSURAYAMA, D.; FAZENDA, A.; BELA, M. The chemistry catts-brams model (ccatts-brams 4.5): a regional atmospheric model system for integrated air quality and weather forecasting and research. **Geoscientific Model Development**, v. 6, n. 5, p. 1389–1405, 2013. Disponível em: <<http://www.geosci-model-dev.net/6/1389/2013/>>. 21

LORENZ, R. Thermal imaging of a desert dust devil. **Journal of Meteorology**, v. 29, p. 275–276, 2004. 18

LUO, C.; MAHOWALD, N.; CORRAL, J. del. Sensitivity study of meteorological parameters on mineral aerosol mobilization, transport, and distribution. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 108, n. D15, p. 4447, 2003. ISSN 2156-2202. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1029/2003JD003483>>. 11

MAHOWALD, N.; ALBANI, S.; KOK, J.; ENGELSTAEDER, S.; SCANZA, R.; WARD, D.; FLANNER, M. The size distribution of desert dust aerosols and its impact on the earth system. **Aeolian Research**, in press, n. 0, 2013. ISSN 1875-9637. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875963713000736>>. 2, 10

MAHOWALD, N.; KOHFELD, K.; HANSSON, M.; BALKANSKI, Y.; HARRISON, S.; PRENTICE, I.; SCHULZ, M.; RODHE, H. Dust sources and deposition during the last glacial maximum and current climate: a comparison of model results with paleodata from ice cores and marine sediments. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 104, n. D13, p. 15895–15916, 1999. ISSN 2156-2202. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1029/1999JD900084>>. 2, 11

MAHOWALD, N.; LUO, C. A less dusty future? **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 17, p. 1903, 2003. ISSN 1944-8007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2003GL017880>>. 2, 11

MARTICORENA, B.; BERGAMETTI, G. Modeling the atmospheric dust cycle: design of a soil-derived dust emission scheme. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. D8, p. 16415–16430, 1995. 11

_____. Two-year simulations of seasonal and interannual changes of the saharan dust emissions. **Geophysical Research Letters**, v. 23, n. 15, p. 1921–1924, 1996. ISSN 1944-8007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/96GL01432>>. 11

MARTICORENA, B.; BERGAMETTI, G.; AUMONT, B.; CALLOT, Y.; N'DOUMÉ, C.; LEGRAND, M. Modeling the atmospheric dust cycle: 2. simulation of saharan dust sources. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, n. D4, p. 4387–4404, 1997. 14, 33

MEINRAT, A. Climatic effects of changing atmospheric aerosol levels. In: HENDERSON-SELLERS, A. (Ed.). **Future climates of the world: a modelling**

- perspective**. New York: Elsevier, 1995, (World Survey of Climatology, v. 16). cap. 10, p. 347–398. 11
- MELLOR, G.; YAMADA, T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. **Reviews of Geophysics and Space Physics**, v. 20, p. 851–875, 1982. 19
- MILLER, R.; PERLWITZ, J.; TEGEN, I. Feedback upon dust emission by dust radiative forcing through the planetary boundary layer. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 109, n. D24, p. D24209, 2004. ISSN 2156-2202. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2004JD004912>>. 11
- MOORTHI, S.; SUAREZ, M. Relaxed arakawa-schubert: A parameterization of moist convection for general circulation models. **Monthly Weather Review**, v. 120, p. 978–1002, 1992. 19
- OKIN, G. A new model of wind erosion in the presence of vegetation. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 113, n. F2, 2008. ISSN 2156-2202. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2007JF000758>>. 9
- PENNER, J.; MEINRAT, A.; ANNEGARN, H.; BARRIE, L.; FEICHTER, J.; HEGG, D.; JAYARAMAN, A.; LEAITCH, R.; MURPHY, D.; NGANGA, J.; PITARI, G. Aerosols: their direct and indirect effects. In: HOUGHTON, J.; DING, Y.; GRIGGS, D.; NOGUER, M.; LINDEN, P. van der; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNON, C. (Ed.). **Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY: Cambridge University Press, 2001. p. 291–336. 11
- PETERSON, J.; JUNGE, C. Source of particulate matter in the atmosphere. In: MATTHEWS, W.; KELLOGG, W.; ROBINSON, G. (Ed.). **Man's impact on climate**. Cambridge, MA: MIT Press, 1971. p. 310–320. 11
- PROSPERO, J. The atmospheric transport of particles to the ocean. In: ITTEKKOT, V.; SCHAEFER, P.; HONJO, S.; DEPETRIS, P. (Ed.). **Particle flux in the ocean**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996. p. 19–52. 11
- PYE, K. **Aeolian dust and dust deposits**. 2. ed. San Diego, California: Academic Press, 1989. 14
- PYE, K.; TSOAR, H. **Aeolian sand and sand dunes**. London: Unwin Hyman, 1990. 12
- RENNÓ, N.; BURKETT, M.; LARKIN, M. A simple thermodynamical theory for dust devils. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 55, p. 3244–3252, 1998. 18
- RENNO, N.; KOK, J. Electrical activity and dust lifting on earth, mars and beyond. **Space Science Review**, n. 137, p. 419–434, 2008. 8, 13
- ROSENFELD, D.; RUDICH, Y.; LAHAV, R. Desert dust suppressing precipitation: a possible desertification feedback loop. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 98, n. 11, p. 5975–5980, 2001. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/98/11/5975.abstract>>. 6
- SCHMIDT, D.; SCHMIDT, R.; DENT, J. Electrostatic force on saltating sand. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, p. 8997–9001, 1998. 7, 13

- SCHÜTZ, L. Long-range transport of desert dust with special emphasis on the sahara. In: **Annals of the New York Academy of Sciences**. [S.l.: s.n.], 1980. v. 338, p. 515–532. 11
- SCHÜTZ, L.; JAENICKE, R.; PIETREK, H. Saharan dust transport over the north atlantic ocean. **Geological Society of America**, n. 186, p. 87–100, 1980. 11
- SEINFELD, J.; PANDIS, S. Properties of the atmospheric aerosol. In: **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006. p. 350–395. 3, 4
- SLINGO, J. The development of verification of a cloud prediction scheme for the ecmwf model. **Quartely Journal of Royal Meteorological Society**, v. 113, p. 899–927, 1987. 19
- SOKOLIK, I.; GOLITSYN, G. Investigation of optical and radiative properties of atmospheric dust aerosols. **Atmospheric Environment. Part A. general topics**, v. 27, n. 16, p. 2509–2517, 1993. ISSN 0960-1686. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096016869390023R>. 7
- SOKOLIK, I.; TOON, O.; BERGSTROM, R. Modeling the radiative characteristics of airborne mineral aerosols at infrared wavelengths. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 103, n. D8, p. 8813–8826, 1998. ISSN 2156-2202. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/98JD00049>. 9
- SOKOLIK, I. N.; TOON, O. B. Incorporation of mineralogical composition into models of the radiative properties of mineral aerosol from uv to ir wavelengths. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 104, n. D8, p. 9423–9444, 1999. ISSN 2156-2202. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/1998JD200048>. 2, 5, 6
- SWAP, R.; ULANSKI, S.; COBBETT, M.; GARSTANG, M. Temporal and spatial characteristics of saharan dust outbreaks. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 101, n. D2, p. 4205–4220, 1996. ISSN 2156-2202. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/95JD03236>. 11
- TARASOVA, T.; BARBOSA, H.; FIGUEROA, S. **Incorporation of new solar radiation scheme into CPTEC GCM**. Cachoeira Paulista, May 2006. 20
- TARASOVA, T.; FOMIN, B. Solar radiation absorption due water vapor: Advanced broadband parameterizations. **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, p. 1947–1951, 2000. 20
- TEGEN, I. Modeling the mineral dust aerosol cycle in the climate system. **Quaternary Science Reviews**, n. 22, p. 1821–1834, 2003. 11
- TEGEN, I.; FUNG, I. Modeling of mineral dust in the atmosphere: sources, transport, and optical thickness. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, p. 22897–22914, 1994. 1, 2, 11
- _____. Contribution to the atmospheric mineral aerosol load from land surface modification. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 100, n. D9, p. 18707–18726, 1995. ISSN 2156-2202. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/95JD02051>. 11
- TEGEN, I.; HARRISON, S.; KOHFELD, K.; PRENTICE, I.; COE, M.; HEIMANN, M. Impact of vegetation and preferential source areas on global dust aerosol: results from a model study. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, D21, n. 107, p. 4576, 2002. 11

- TEGEN, I.; LACIS, A. Modeling of particle size distribution and its influence on the radiative properties of mineral dust aerosol. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, p. 19237–19244, August 1996. 7
- TEGEN, I.; WERNER, M.; HARRISON, S.; KOHFELD, K. Relative importance of climate and land use in determining present and future global soil dust emission. **Geophysical Research Letters**, v. 31(5), p. L05105, 2004. 11
- TIEDTKE, M. The sensitivity of the time-mean large-scale flow to cumulus convection in the ecmwf model. In: ECMWF. **Workshop on Convection in Large-Scale Numerical Models**. Reading, England: ECMWF, 1983. p. 297–316. 19
- _____. A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in largescale models. **Monthly Weather Review**, v. 117, p. 1779–1800, 1989. 19
- WALKO, R.; BAND, L.; BARON, J.; KITTEL, T.; LAMMERS, R.; LEE, T.; OJIMA, D.; PIELKE, R.; TAYLOR, C.; TAGUE, C.; TREMBACK, C.; VIDALE, P. Coupled atmosphere-biophysics-hydrology models for environmental modeling. **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, p. 931–944, 2000. 21
- WARNER, T. **Desert Meteorology**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2004. 12, 18
- WERNER, M.; TEGEN, I.; HARRISON, S.; KOHFELD, K.; PRENTICE, I.; BALKANSKI, Y.; RODHE, H.; ROELANDT, C. Seasonal and interannual variability of the mineral dust cycle under present and glacial climate conditions. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D24, p. AAC 2.1–AAC 2.19, 2002. ISSN 2156-2202. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2002JD002365>>. 11
- WESELY, M. Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models. **Atmospheric Environment (1967)**, v. 23, n. 6, p. 1293–1304, 1989. ISSN 0004-6981. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0004698189901534>>. 2, 16, 36
- WHO. **Hazard prevention and control in the work environment: airborne dust**. Geneva: WHO, 1999. Disponível em: <http://www.who.int/occupational_health/publications/airdust/en/>. 8
- WIGGS, G. **Airflow over barchan dunes: field measurements, mathematical modelling and wind tunnel testing**. Dissertação (Mestrado) — University of London, 1992. 17
- WIGGS, G. Sediment mobilisation by the wind. In: THOMAS, D. (Ed.). **Arid zone geomorphology: process form and change in drylands**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1997. p. 351–372. 12
- XUE, Y.; SELLERS, P.; III, J. K.; SHUKLA, J. A simplified biosphere model for global climate studies. **Journal of Climate**, v. 4, p. 345–364, 1991. 19
- ZENDER, C.; BIAN, H.; NEWMAN, D. Mineral dust entrainment and deposition (dead) model: Description and 1990s dust climatology. **Journal of Geophysical Research**, v. 108 (D14), p. 4416, 2003. 11
- ZHANG, Y.; CARMICHAEL, G. The role of mineral aerosol in tropospheric chemistry in east asia—a model study. **Journal of Applied Meteorology**, v. 38, p. 353–366, 1999. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038<0353:TROMAI>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<0353:TROMAI>2.0.CO;2)>. 5

APÊNDICE A - Emissão

A.1 – Emissão por classe de poeira.

Esta seção apresenta os totais integrado das 5 classes de partículas individuais e agrupadas da emissão da poeira.

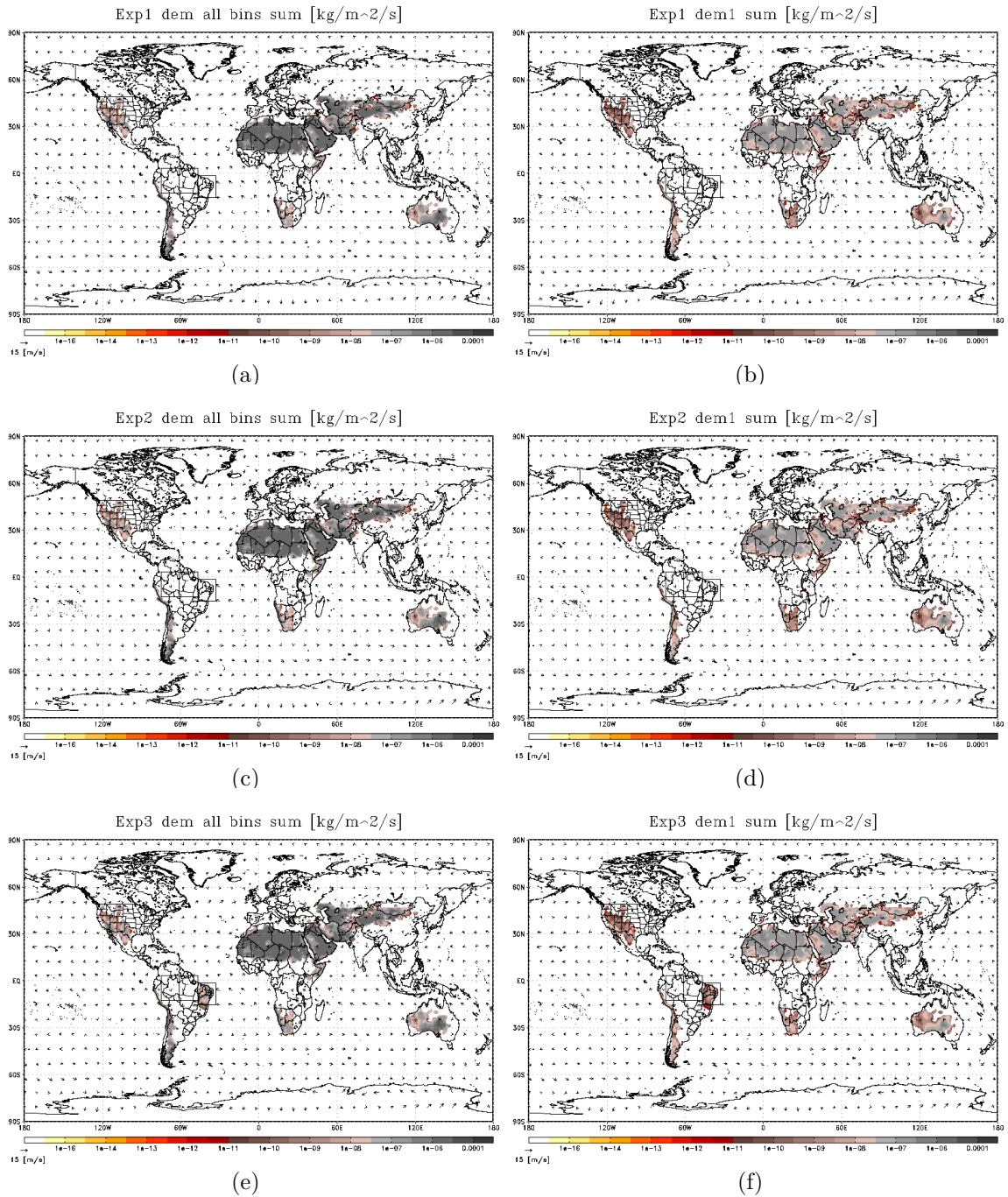


Figura A.1 - Emissão da poeira: *bin All e 1*. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*.

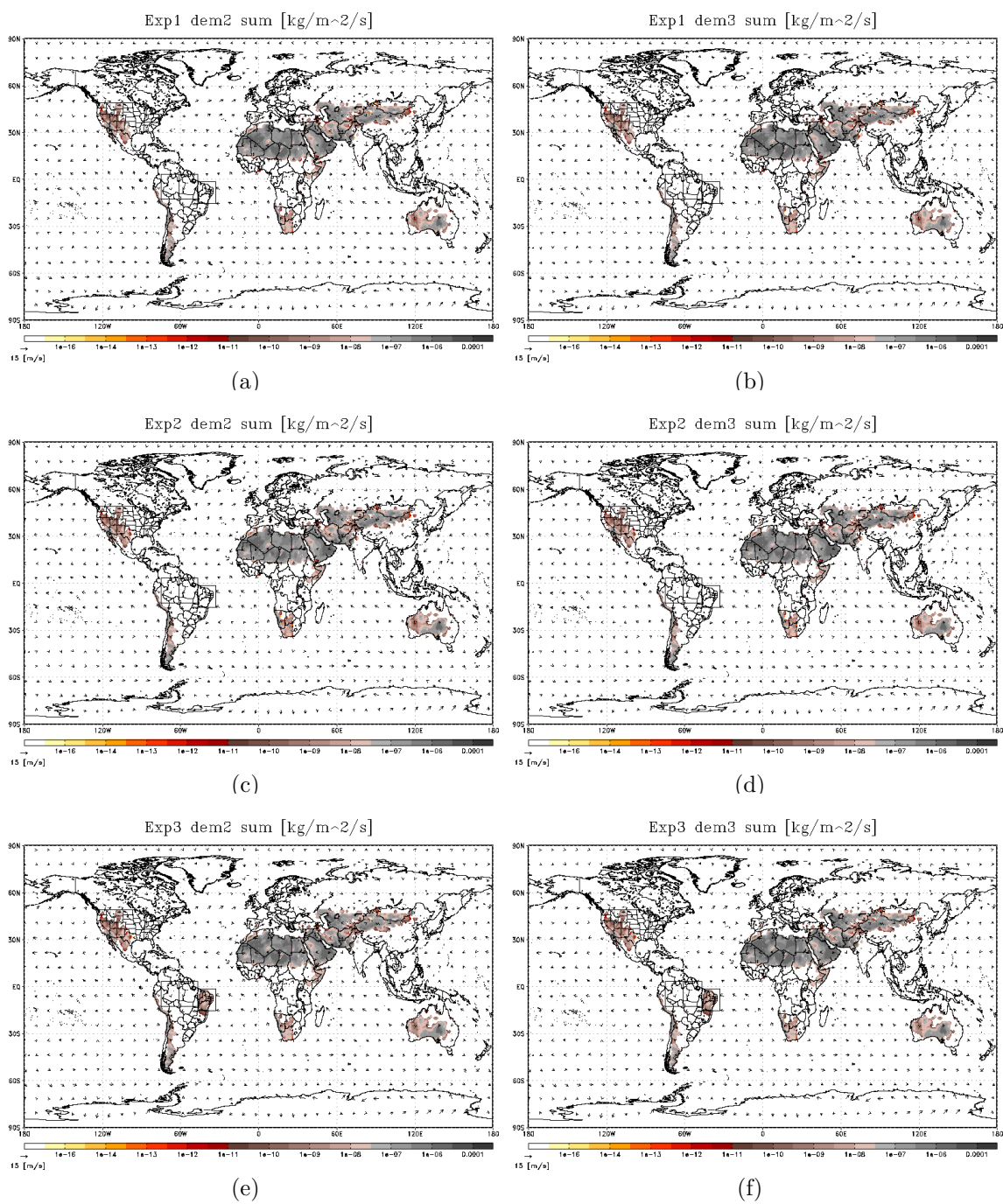


Figura A.2 - Emissão da poeira: bin 2 e 3. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*.

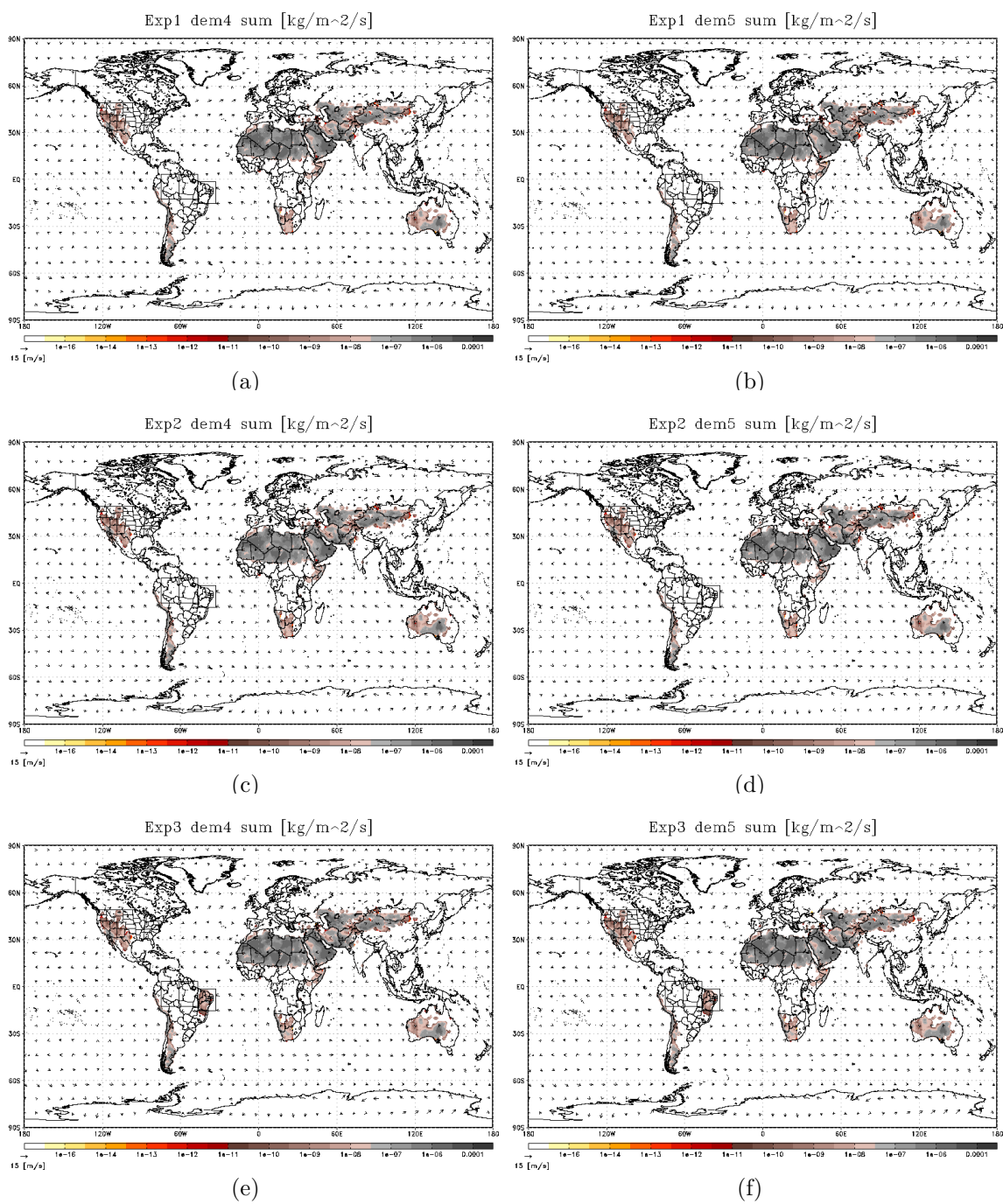


Figura A.3 - Emissão da poeira: bin 4 e 5. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*.

Tabela A.1 - Emissão de poeira total integrado por área e por classe.

<i>Emissão</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp2</i>
<i>dem all</i>	Glb	5.26418E-03	5.03483E-03	5.56403E-03	-2.29358E-04	2.99850E-04	5.29207E-04
	Ctg	0.00000E+00	0.00000E+00	8.83038E-06	0.00000E+00	8.83038E-06	8.83038E-06
	Am1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
	Am2	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
<i>dem 1</i>	Glb	3.16412E-04	3.02086E-04	3.39951E-04	-1.43260E-05	2.35391E-05	3.78651E-05
	Ctg	0.00000E+00	0.00000E+00	5.79624E-07	0.00000E+00	5.79624E-07	5.79624E-07
	Am1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
	Am2	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
<i>dem 2</i>	Glb	1.05965E-03	1.01290E-03	1.12468E-03	-4.67520E-05	6.50310E-05	1.11783E-04
	Ctg	0.00000E+00	0.00000E+00	1.81949E-06	0.00000E+00	1.81949E-06	1.81949E-06
	Am1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
	Am2	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
<i>dem 3</i>	Glb	1.20311E-03	1.15066E-03	1.27140E-03	-5.24473E-05	6.82918E-05	1.20739E-04
	Ctg	0.00000E+00	0.00000E+00	2.01645E-06	0.00000E+00	2.01645E-06	2.01645E-06
	Am1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
	Am2	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
<i>dem 4</i>	Glb	1.31142E-03	1.25472E-03	1.38220E-03	-5.67030E-05	7.07766E-05	1.27480E-04
	Ctg	0.00000E+00	0.00000E+00	2.16484E-06	0.00000E+00	2.16484E-06	2.16484E-06
	Am1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
	Am2	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
<i>dem 5</i>	Glb	1.37360E-03	1.31447E-03	1.44581E-03	-5.91294E-05	7.22115E-05	1.31341E-04
	Ctg	0.00000E+00	0.00000E+00	2.24997E-06	0.00000E+00	2.24997E-06	2.24997E-06
	Am1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
	Am2	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

APÊNDICE B - Deposição Gravitacional

B.1 – Sedimentação gravitacional por classe de poeira.

Esta seção apresenta os totais integrado das 5 classes de partículas individuais e agrupadas da sedimentação gravitacional da poeira.

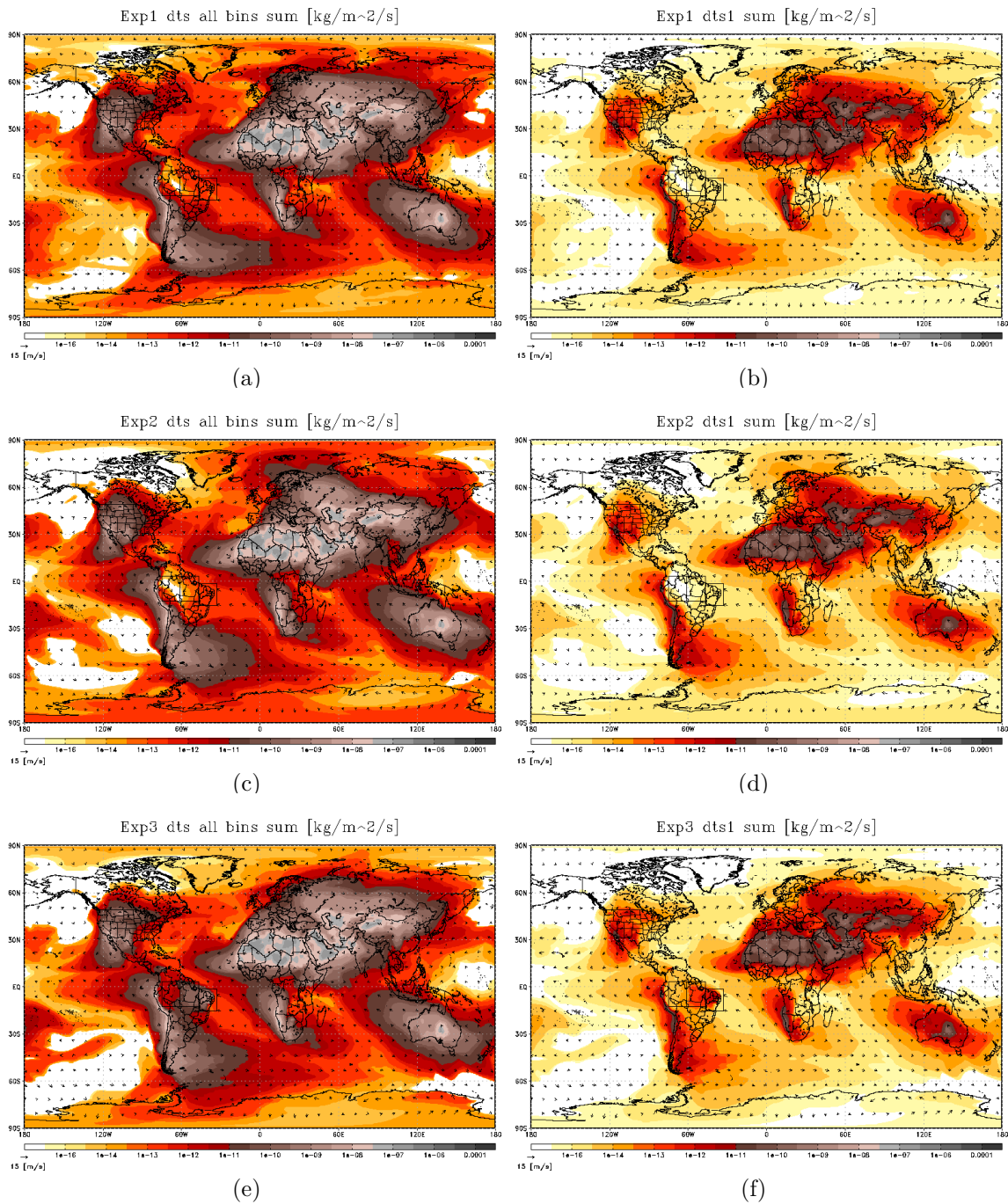


Figura B.1 - Deposição gravitacional da poeira: *bin All e 1*. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*.

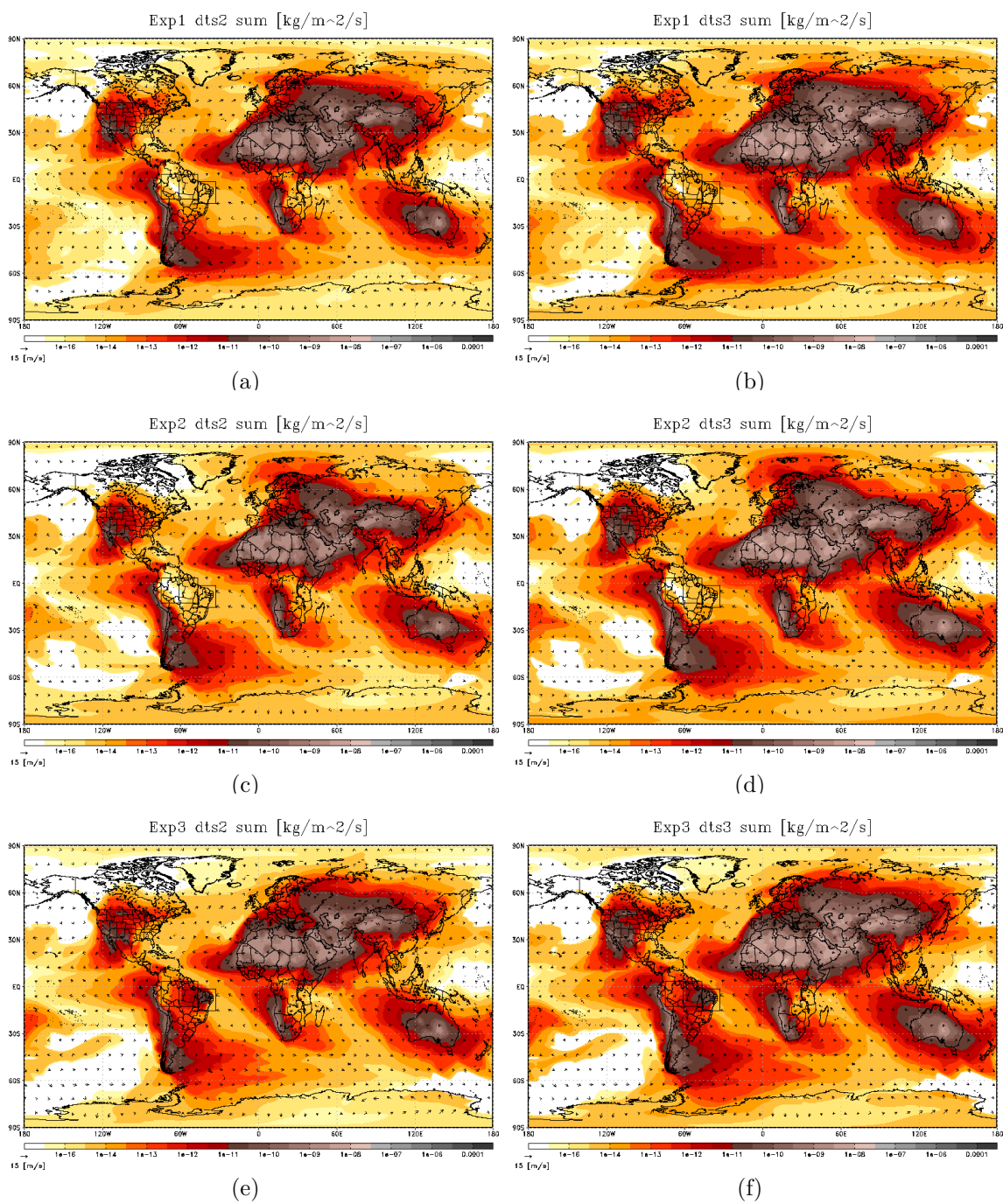


Figura B.2 - Deposição gravitacional da poeira: *bin 2 e 3*. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*.

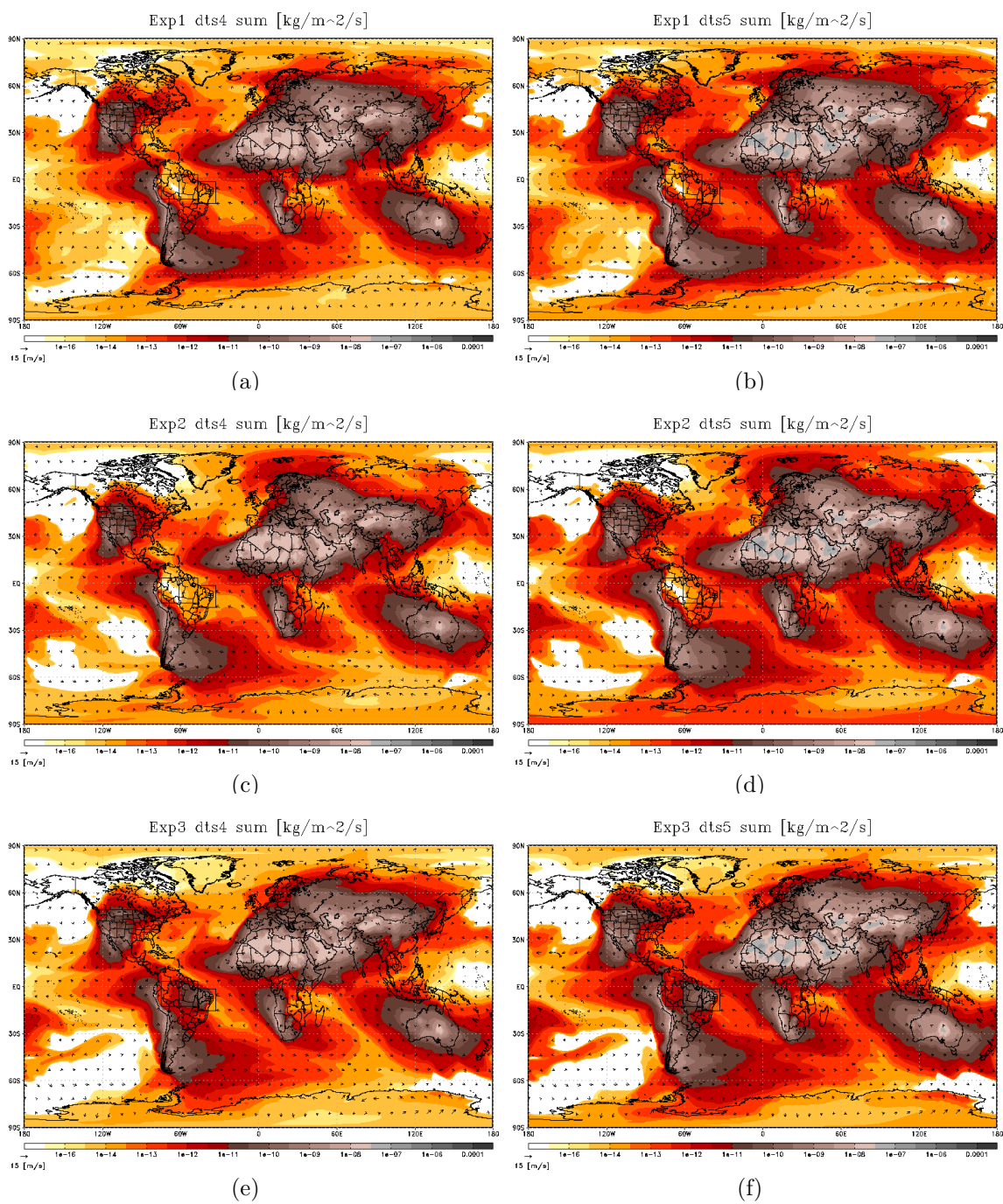


Figura B.3 - Deposição gravitacional da poeira: *bin 4 e 5*. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*.

Tabela B.1 - Sedimentação gravitacional total integrado por área e por classe.

<i>Sedimentação</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp2</i>
<i>dts all</i>	Glb	1.27179E-04	1.25011E-04	1.31818E-04	-2.16793E-06	4.63901E-06	6.80693E-06
	Ctg	8.92017E-11	5.37720E-11	8.12347E-08	-3.54297E-11	8.11455E-08	8.11809E-08
	Am1	5.76501E-11	2.07955E-11	3.42874E-08	-3.68546E-11	3.42297E-08	3.42666E-08
	Am2	1.67915E-10	1.73034E-10	1.76348E-09	5.11945E-12	1.59556E-09	1.59044E-09
<i>dts 1</i>	Glb	1.68655E-07	1.66038E-07	1.77660E-07	-2.61717E-09	9.00481E-09	1.16220E-08
	Ctg	9.62434E-14	6.02126E-14	1.12594E-10	-3.60308E-14	1.12498E-10	1.12534E-10
	Am1	5.88092E-14	2.22490E-14	5.34234E-11	-3.65601E-14	5.33646E-11	5.34012E-11
	Am2	2.52749E-13	2.61117E-13	2.59685E-12	8.36806E-15	2.34410E-12	2.33574E-12
<i>dts 2</i>	Glb	2.23610E-06	2.19995E-06	2.33140E-06	-3.61529E-08	9.53005E-08	1.31453E-07
	Ctg	1.38389E-12	8.48649E-13	1.44844E-09	-5.35246E-13	1.44705E-09	1.44759E-09
	Am1	9.01011E-13	3.32020E-13	6.49460E-10	-5.68992E-13	6.48559E-10	6.49128E-10
	Am2	3.05464E-12	3.13013E-12	3.20771E-11	7.54900E-14	2.90224E-11	2.89469E-11
<i>dts 3</i>	Glb	7.46667E-06	7.34429E-06	7.75725E-06	-1.22380E-07	2.90582E-07	4.12962E-07
	Ctg	4.78409E-12	2.91332E-12	4.78984E-09	-1.87077E-12	4.78506E-09	4.78693E-09
	Am1	3.17199E-12	1.15794E-12	2.09553E-09	-2.01404E-12	2.09236E-09	2.09437E-09
	Am2	9.88223E-12	1.01176E-11	1.04296E-10	2.35337E-13	9.44134E-11	9.41781E-11
<i>dts 4</i>	Glb	2.82126E-05	2.77427E-05	2.92515E-05	-4.69936E-07	1.03887E-06	1.50881E-06
	Ctg	1.88237E-11	1.13986E-11	1.80044E-08	-7.42507E-12	1.79856E-08	1.79931E-08
	Am1	1.24568E-11	4.51531E-12	7.70634E-09	-7.94146E-12	7.69388E-09	7.70182E-09
	Am2	3.68411E-11	3.78022E-11	3.88669E-10	9.61155E-13	3.51828E-10	3.50866E-10
<i>dts 5</i>	Glb	8.90948E-05	8.75580E-05	9.23001E-05	-1.53685E-06	3.20525E-06	4.74210E-06
	Ctg	6.41138E-11	3.85512E-11	5.68794E-08	-2.55626E-11	5.68152E-08	5.68408E-08
	Am1	4.10615E-11	1.47679E-11	2.37826E-08	-2.62936E-11	2.37415E-08	2.37678E-08
	Am2	1.17884E-10	1.21723E-10	1.23584E-09	3.83910E-12	1.11796E-09	1.11412E-09

APÊNDICE C - Deposição Seca

C.1 – Deposição seca por classe de poeira.

Esta seção apresenta os totais integrado das 5 classes de partículas individuais e agrupadas da deposição seca da poeira.

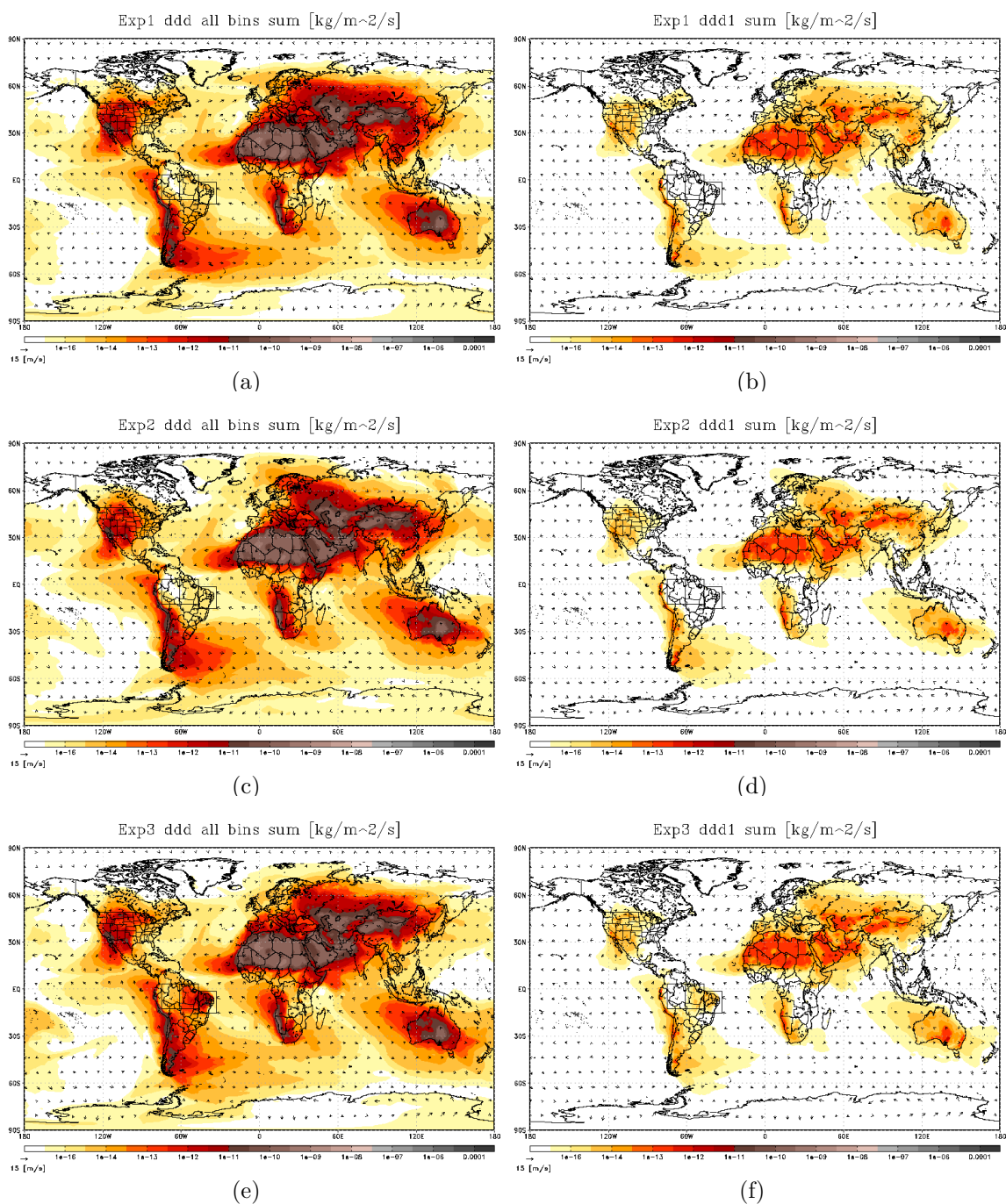


Figura C.1 - Deposição seca da poeira: *bin All e 1*. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*.

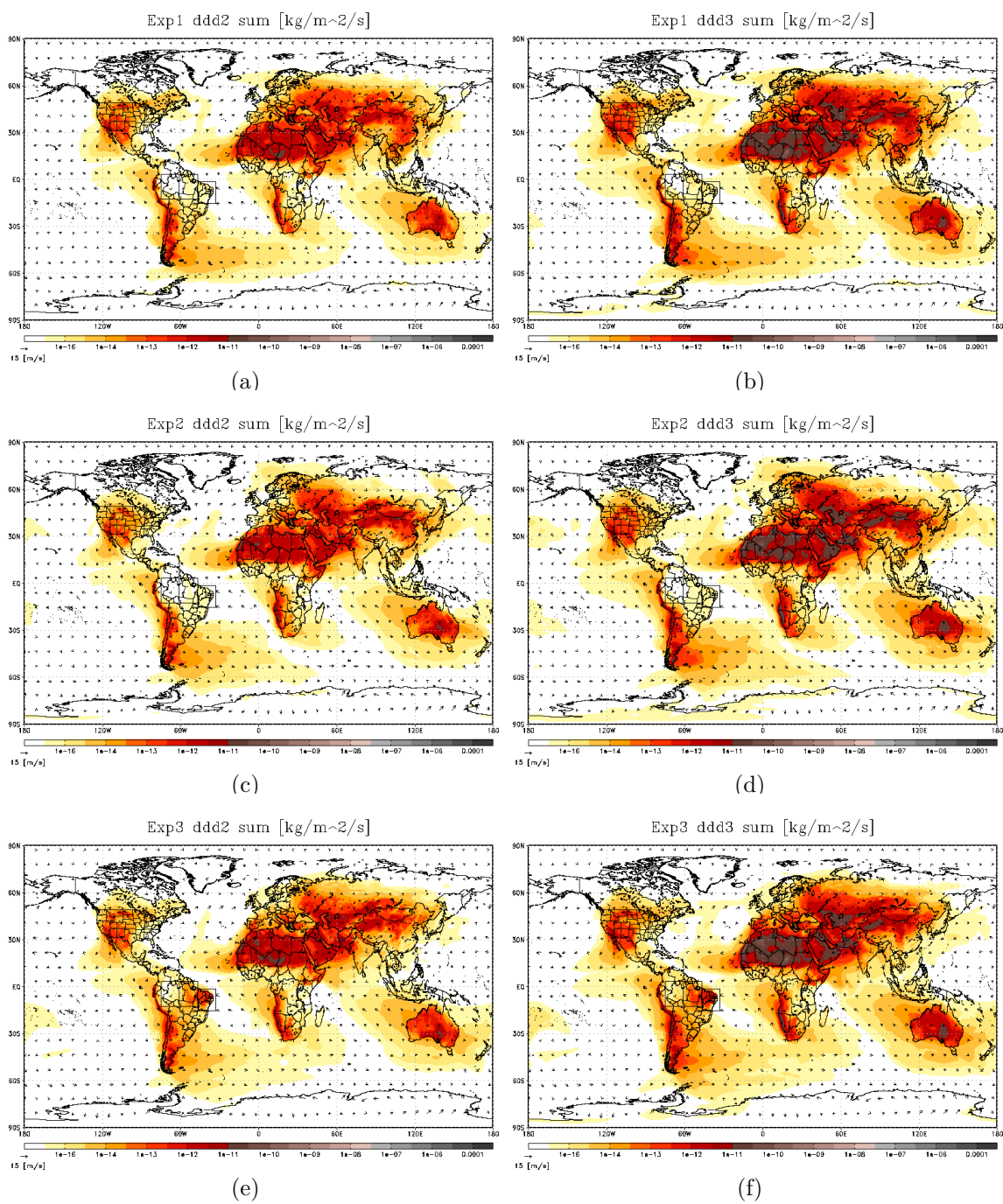


Figura C.2 - Deposição seca da poeira: *bin 2 e 3*. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*.

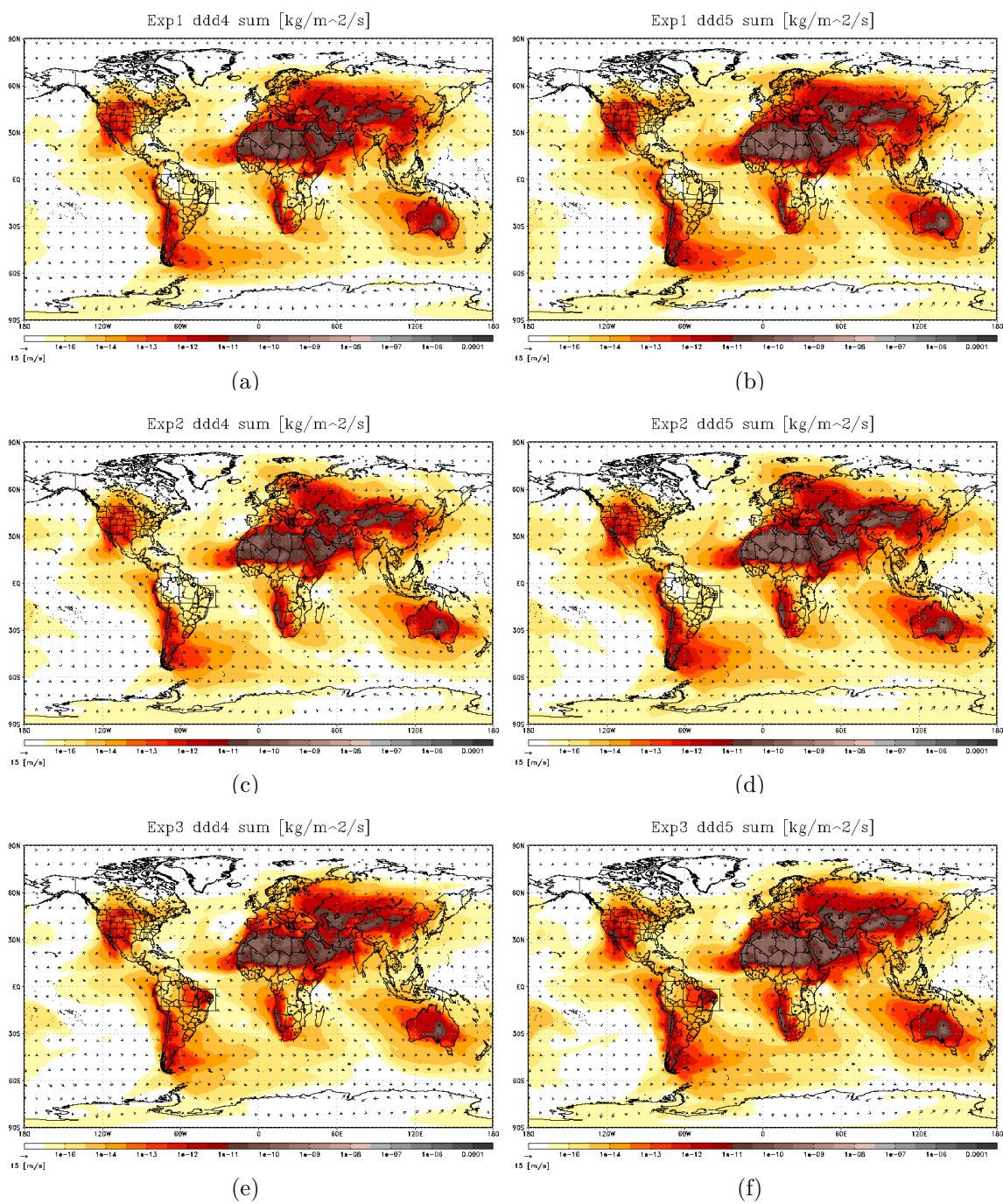


Figura C.3 - Deposição seca da poeira: *bin 4* e *5*. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*.

Tabela C.1 - Deposição seca de poeira total integrado por área e por classe.

<i>Deposição seca</i>	<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 – Exp1</i>	<i>Exp3 – Exp1</i>	<i>Exp3 – Exp2</i>	
<i>ddd all</i>	Glb	4.15641E-07	3.98734E-07	4.35205E-07	-1.69069E-08	1.95641E-08	3.64710E-08
	Ctg	1.20855E-13	8.15322E-14	4.62769E-10	-3.93225E-14	4.62649E-10	4.62688E-10
	Am1	1.31133E-13	5.06959E-14	1.13101E-10	-8.04366E-14	1.12969E-10	1.13050E-10
	Am2	3.49956E-13	2.47523E-13	2.16602E-12	-1.02433E-13	1.81606E-12	1.91849E-12
<i>ddd 1</i>	Glb	4.15428E-10	4.20890E-10	4.54988E-10	5.46246E-12	3.95605E-11	3.40981E-11
	Ctg	1.37855E-16	9.42354E-17	3.74786E-13	-4.36200E-17	3.74648E-13	3.74692E-13
	Am1	1.44081E-16	5.67953E-17	1.52823E-13	-8.72859E-17	1.52679E-13	1.52767E-13
	Am2	6.20017E-16	3.66809E-16	1.71734E-15	-2.53208E-16	1.09732E-15	1.35053E-15
<i>ddd 2</i>	Glb	7.85327E-09	7.92121E-09	9.44741E-09	6.79332E-11	1.59414E-09	1.52621E-09
	Ctg	8.34416E-15	6.41769E-15	3.39107E-11	-1.92647E-15	3.39024E-11	3.39043E-11
	Am1	9.23658E-15	3.67790E-15	9.37581E-12	-5.55868E-15	9.36657E-12	9.37213E-12
	Am2	2.10853E-14	8.11525E-15	7.90684E-14	-1.29700E-14	5.79831E-14	7.09532E-14
<i>ddd 3</i>	Glb	3.46029E-08	3.32288E-08	3.92307E-08	-1.37408E-09	4.62784E-09	6.00193E-09
	Ctg	2.08810E-14	1.52900E-14	8.56250E-11	-5.59104E-15	8.56042E-11	8.56097E-11
	Am1	2.38340E-14	9.36546E-15	2.25867E-11	-1.44685E-14	2.25629E-11	2.25773E-11
	Am2	5.16889E-14	2.57661E-14	3.04624E-13	-2.59228E-14	2.52935E-13	2.78858E-13
<i>ddd 4</i>	Glb	1.13774E-07	1.06998E-07	1.18608E-07	-6.77575E-09	4.83410E-09	1.16098E-08
	Ctg	3.50763E-14	2.38954E-14	1.40353E-10	-1.11809E-14	1.40318E-10	1.40329E-10
	Am1	4.06188E-14	1.56715E-14	3.49653E-11	-2.49474E-14	3.49246E-11	3.49496E-11
	Am2	9.86777E-14	6.38581E-14	6.92167E-13	-3.48195E-14	5.93490E-13	6.28309E-13
<i>ddd 5</i>	Glb	2.58996E-07	2.50165E-07	2.67464E-07	-8.83048E-09	8.46842E-09	1.72989E-08
	Ctg	5.64154E-14	3.58349E-14	2.02506E-10	-2.05805E-14	2.02449E-10	2.02470E-10
	Am1	5.72990E-14	2.19243E-14	4.60200E-11	-3.53748E-14	4.59627E-11	4.59981E-11
	Am2	1.77884E-13	1.49417E-13	1.08844E-12	-2.84672E-14	9.10555E-13	9.39022E-13

APÊNDICE D - Deposição Úmida

D.1 – Deposição úmida por classe de poeira.

Esta seção apresenta os totais integrado das 5 classes de partículas individuais e agrupadas da deposição úmida da poeira.

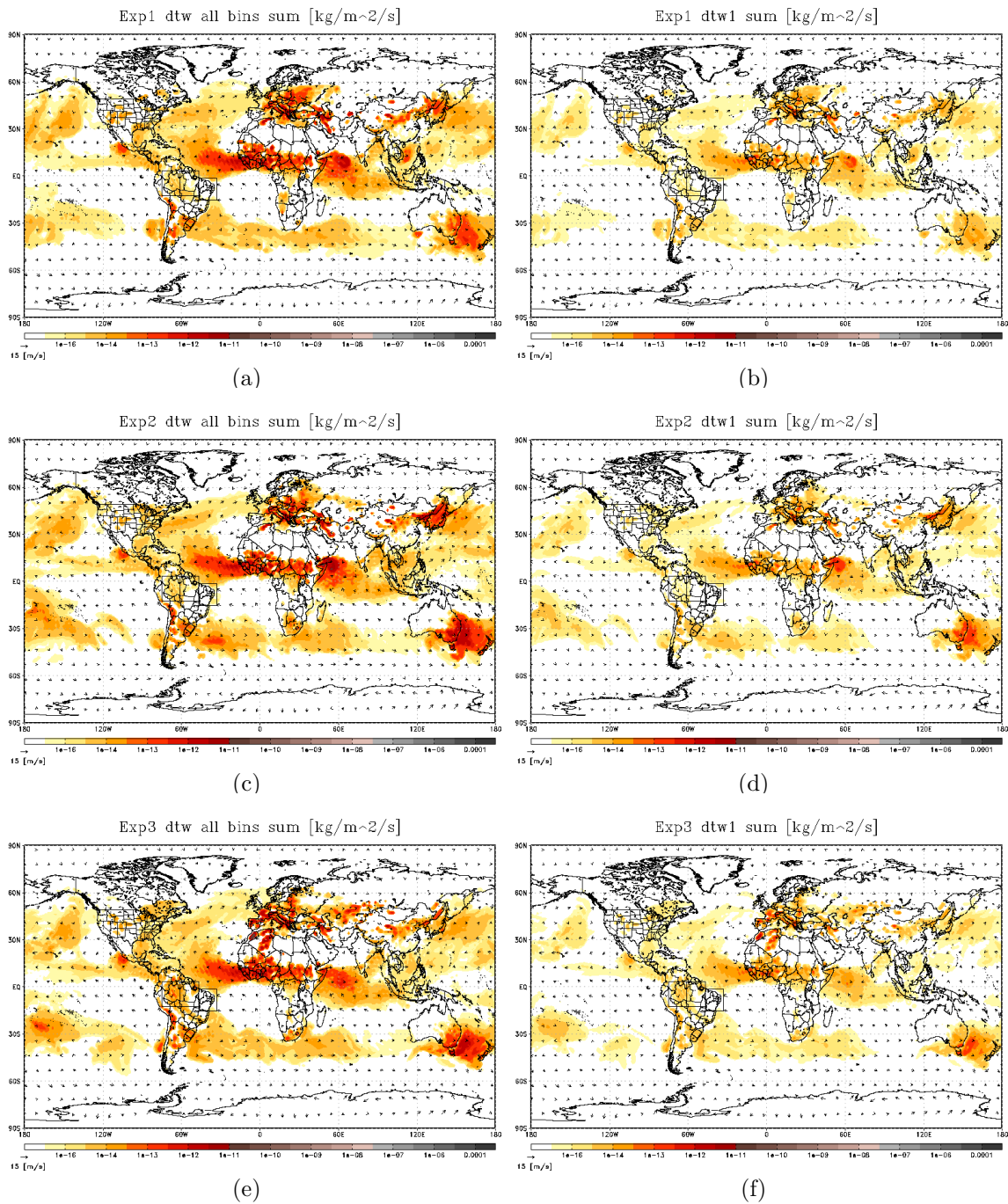


Figura D.1 - Deposição úmida da poeira: *bin All e 1*. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*.

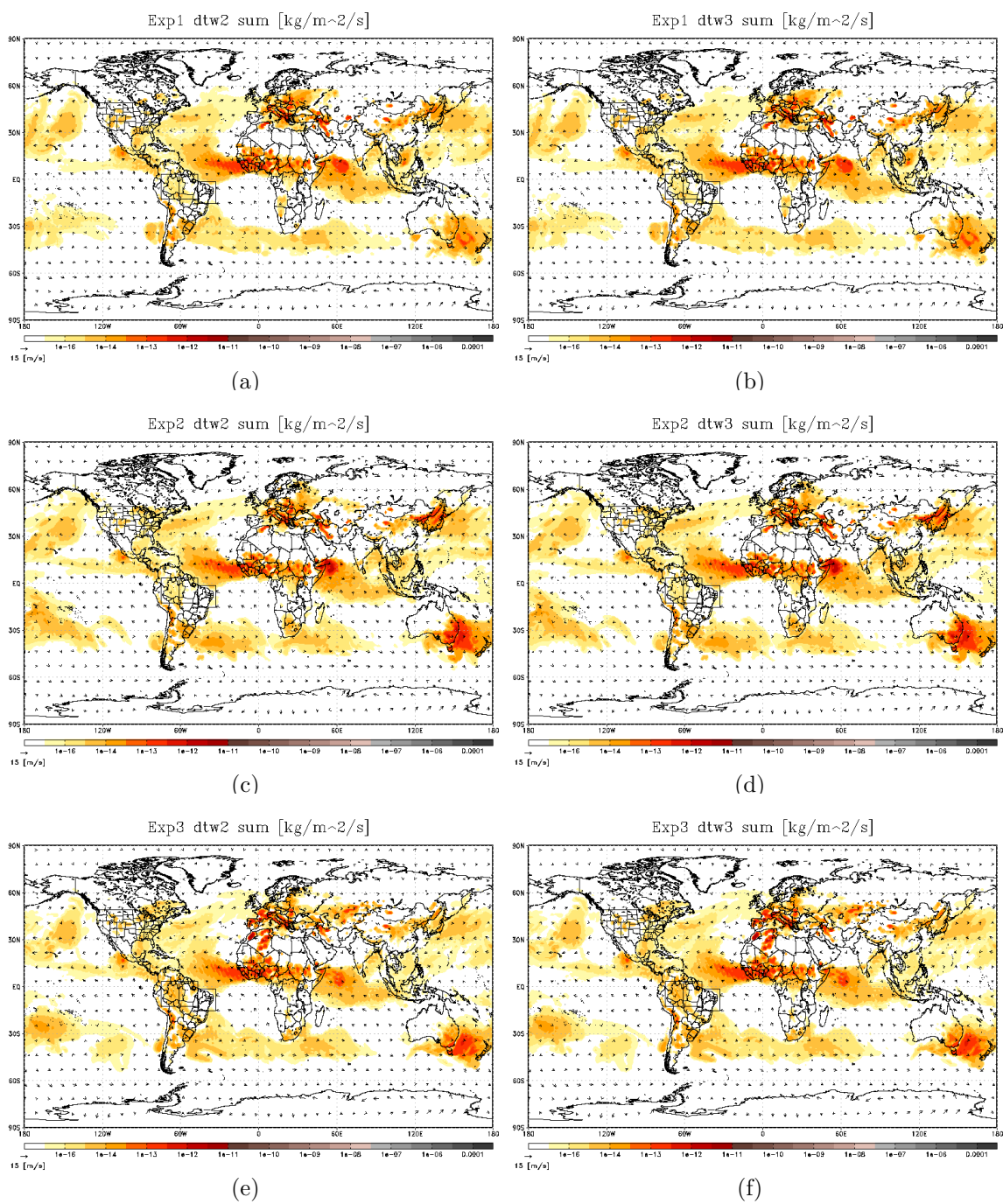


Figura D.2 - Deposição úmida da poeira: *bin 2 e 3*. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*.

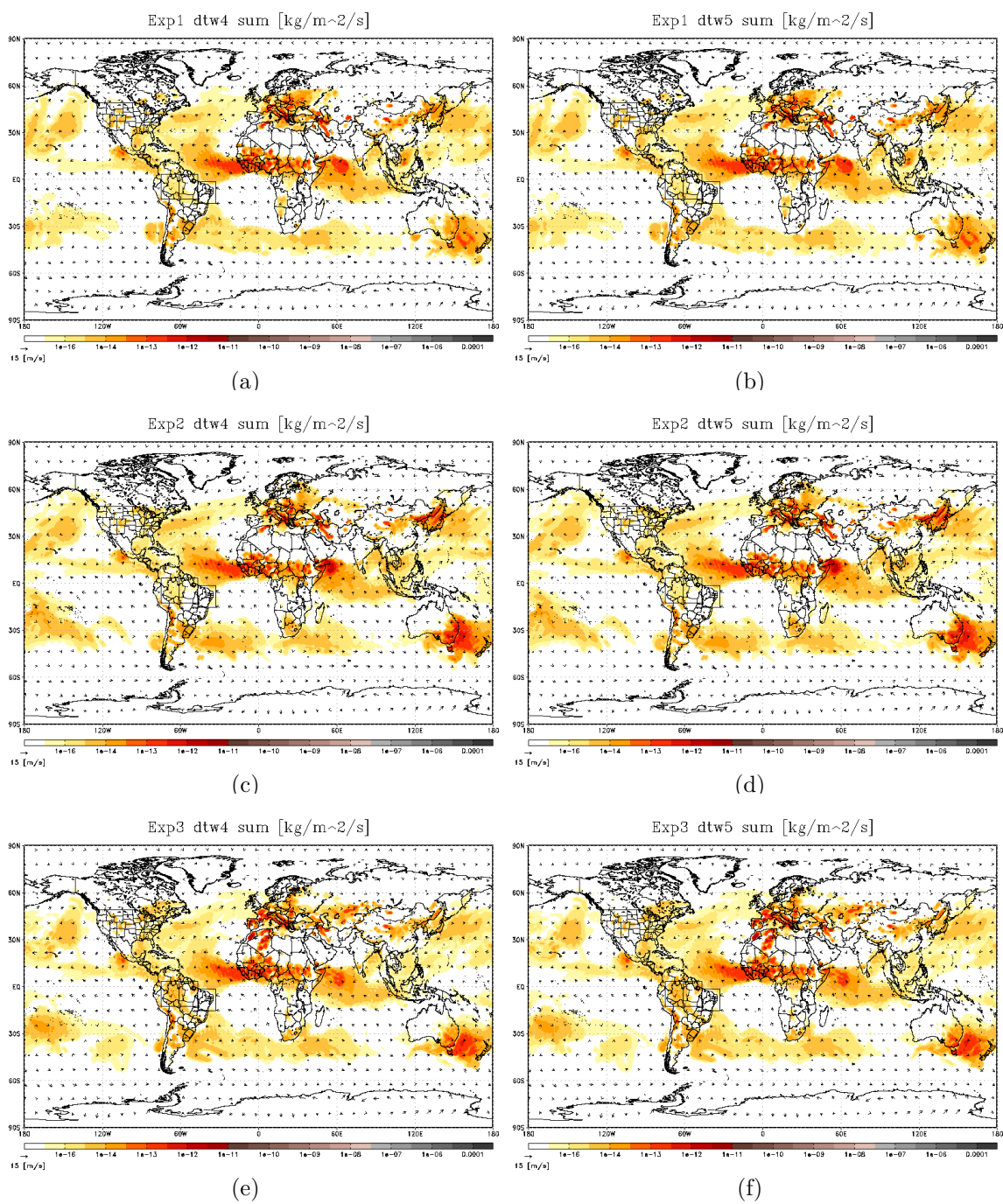


Figura D.3 - Deposição úmida da poeira: *bin 4* e *5*. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*.

Tabela D.1 - Deposição úmida de poeira total integrado por área e por classe.

<i>Deposição úmida</i>		<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp2</i>
<i>dtw all</i>	Glb	9.33582E-10	1.68800E-09	1.35196E-09	7.54414E-10	4.18383E-10	-3.36031E-10
	Ctg	1.05514E-13	8.56895E-14	8.52368E-14	-1.98249E-14	-2.02776E-14	-4.52702E-16
	Am1	1.52606E-13	1.11027E-13	1.92106E-12	-4.15791E-14	1.76846E-12	1.81004E-12
	Am2	3.70871E-13	3.32112E-13	3.93469E-12	-3.87591E-14	3.56382E-12	3.60257E-12
<i>dtw 1</i>	Glb	5.28649E-11	1.07927E-10	8.25534E-11	5.50624E-11	2.96885E-11	-2.53740E-11
	Ctg	4.89440E-15	4.06783E-15	4.17071E-15	-8.26568E-16	-7.23695E-16	1.02873E-16
	Am1	9.38859E-15	6.39372E-15	1.26398E-13	-2.99487E-15	1.17009E-13	1.20004E-13
	Am2	2.40302E-14	2.09091E-14	2.54205E-13	-3.12106E-15	2.30174E-13	2.33296E-13
<i>dtw 2</i>	Glb	1.82833E-10	3.42470E-10	2.70936E-10	1.59637E-10	8.81026E-11	-7.15342E-11
	Ctg	1.96784E-14	1.60220E-14	1.60815E-14	-3.65644E-15	-3.59698E-15	5.94583E-17
	Am1	3.06161E-14	2.18070E-14	3.94619E-13	-8.80909E-15	3.64003E-13	3.72812E-13
	Am2	7.56315E-14	6.70694E-14	8.02579E-13	-8.56210E-15	7.26948E-13	7.35510E-13
<i>dtw 3</i>	Glb	2.10713E-10	3.81915E-10	3.06082E-10	1.71202E-10	9.53685E-11	-7.58332E-11
	Ctg	2.38504E-14	1.93153E-14	1.92251E-14	-4.53513E-15	-4.62533E-15	-9.01972E-17
	Am1	3.45244E-14	2.50387E-14	4.36419E-13	-9.48575E-15	4.01894E-13	4.11380E-13
	Am2	8.39526E-14	7.50664E-14	8.91220E-13	-8.88617E-15	8.07268E-13	8.16154E-13
<i>dtw 4</i>	Glb	2.33864E-10	4.14421E-10	3.34769E-10	1.80557E-10	1.00905E-10	-7.96522E-11
	Ctg	2.72393E-14	2.20332E-14	2.18225E-14	-5.20611E-15	-5.41682E-15	-2.10711E-16
	Am1	3.77358E-14	2.77424E-14	4.69626E-13	-9.99340E-15	4.31891E-13	4.41884E-13
	Am2	9.07967E-14	8.16747E-14	9.63623E-13	-9.12200E-15	8.72827E-13	8.81949E-13
<i>dtw 5</i>	Glb	2.53307E-10	4.41263E-10	3.57625E-10	1.87956E-10	1.04318E-10	-8.36376E-11
	Ctg	2.98519E-14	2.42512E-14	2.39371E-14	-5.60064E-15	-5.91477E-15	-3.14129E-16
	Am1	4.03409E-14	3.00449E-14	4.94003E-13	-1.02960E-14	4.53662E-13	4.63958E-13
	Am2	9.64605E-14	8.73927E-14	1.02306E-12	-9.06782E-15	9.26599E-13	9.35667E-13

APÊNDICE E - Transporte

E.1 – Transporte por classe de poeira.

Esta seção apresenta os totais integrado das 5 classes de partículas individuais e agrupadas dos transporte da poeira.

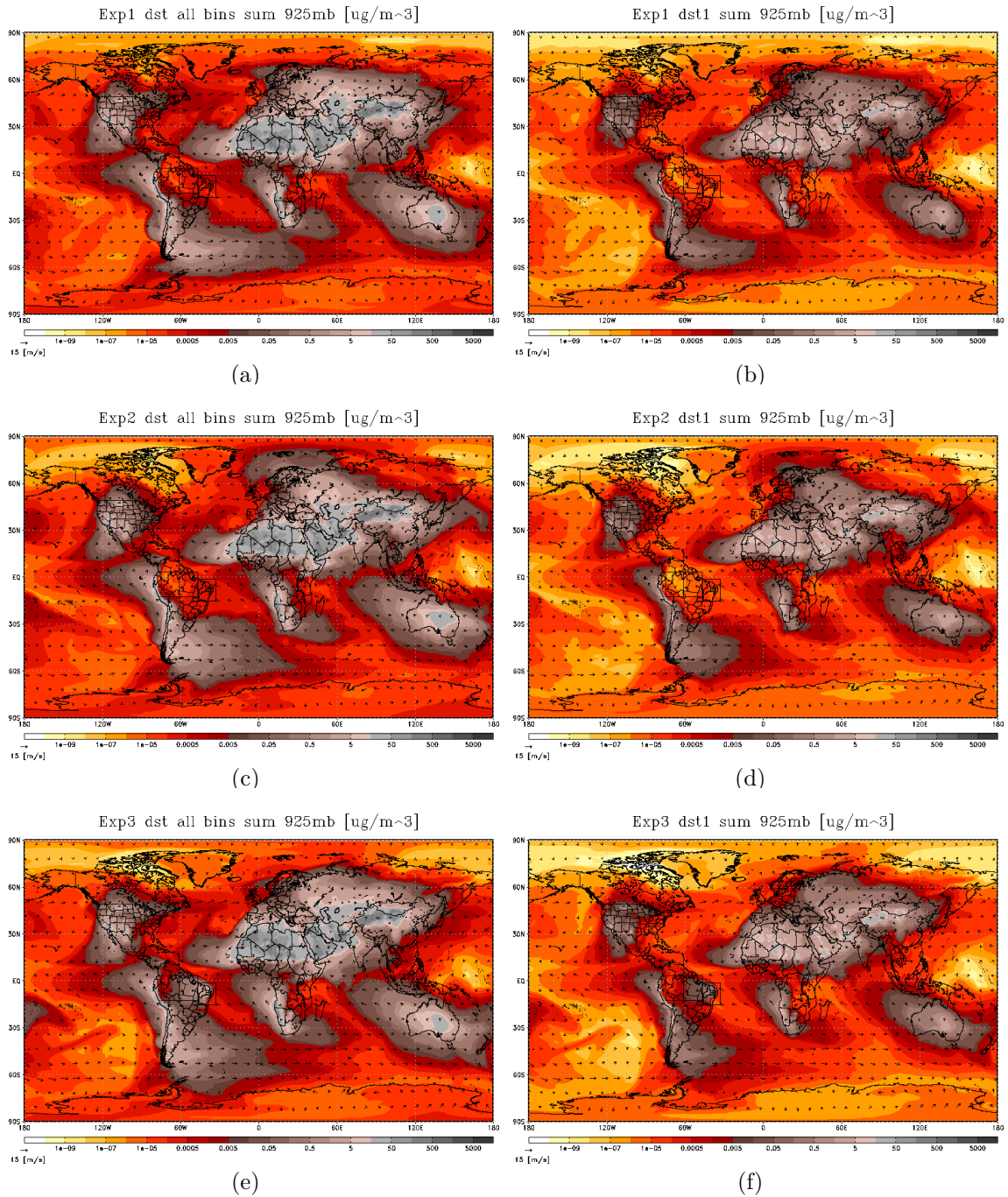


Figura E.1 - Transporte da poeira: *bin All e 1* em 925mb. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*

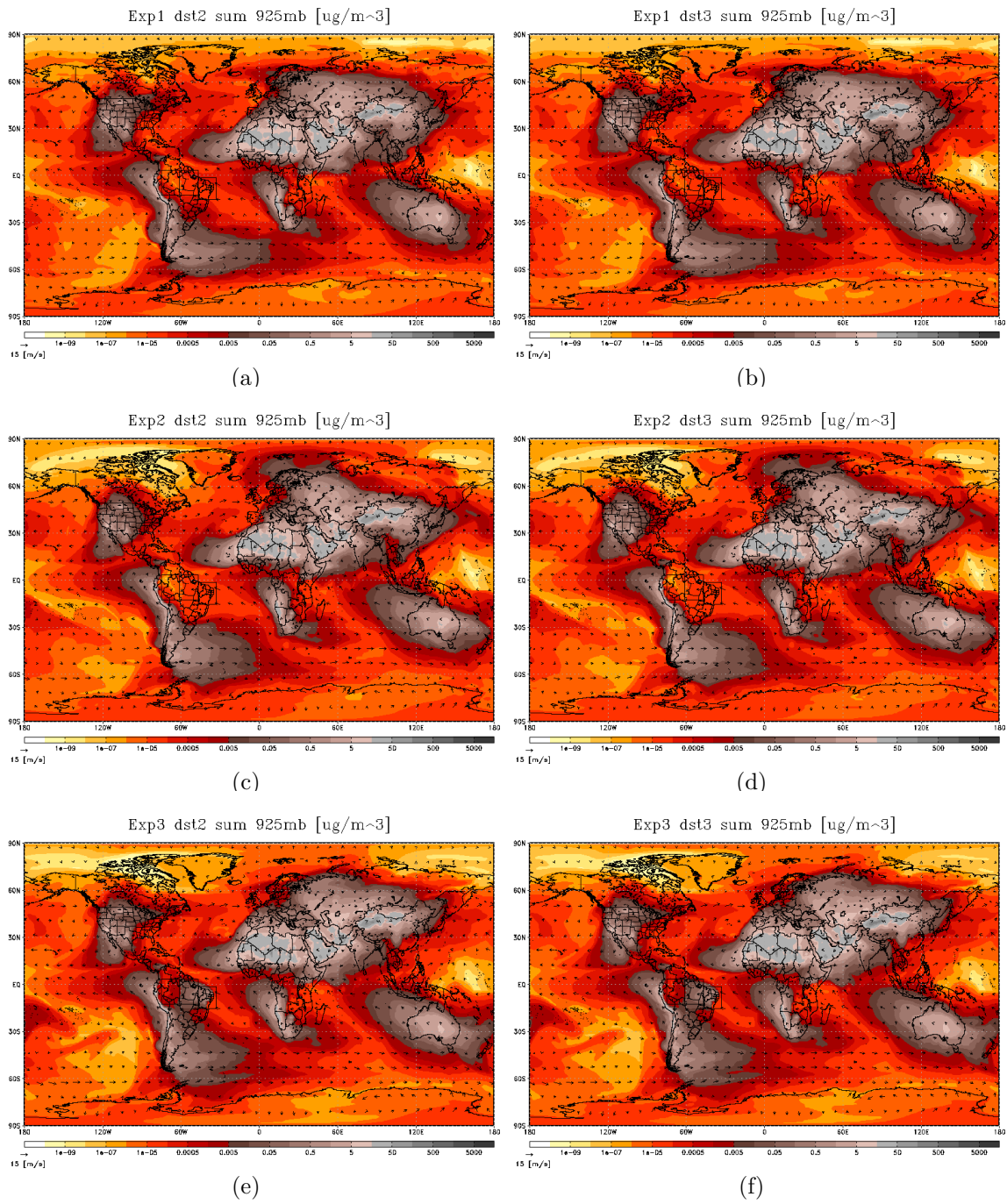


Figura E.2 - Transporte da poeira: bin 2 e 3 em 925mb. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*

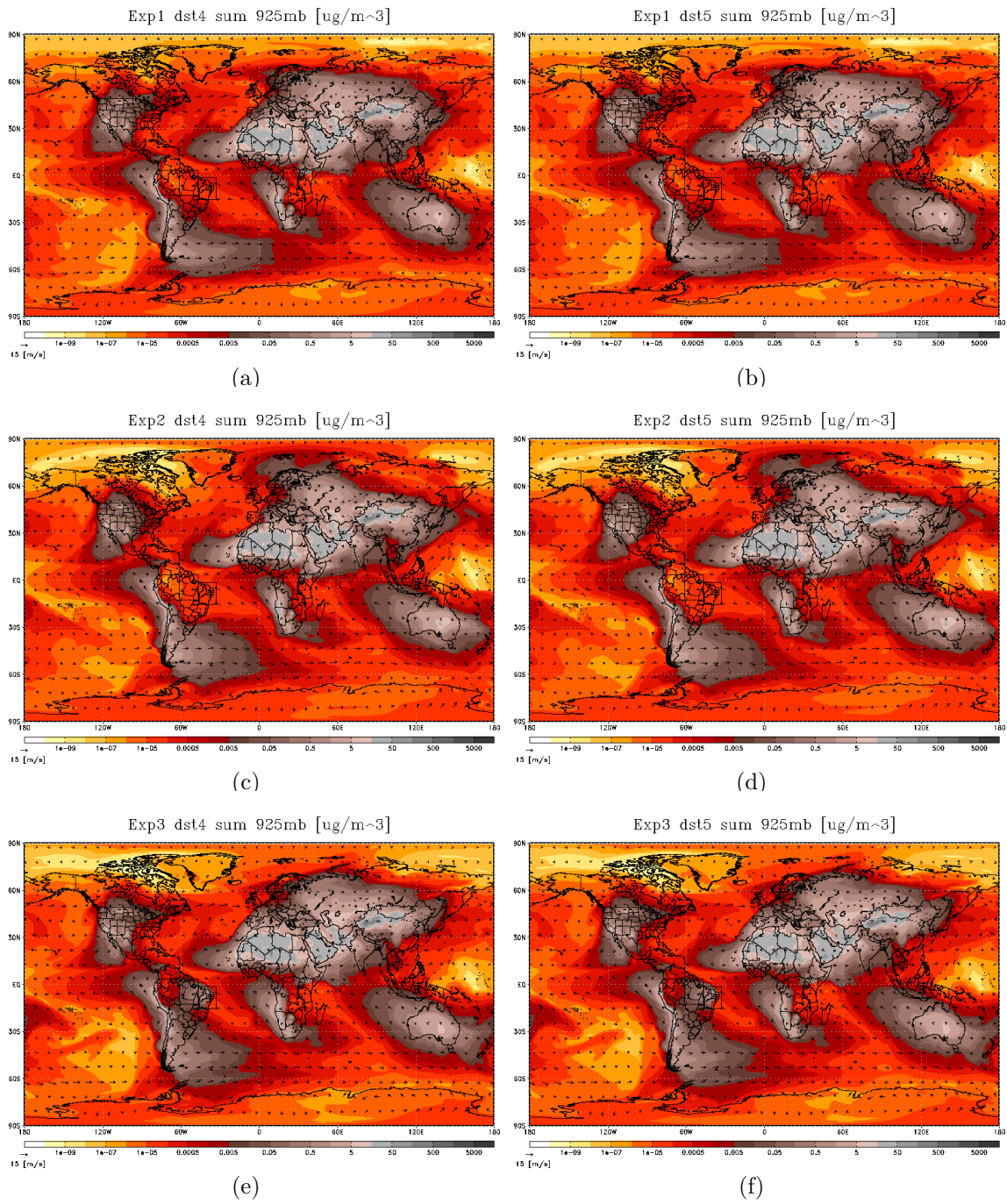


Figura E.3 - Transporte da poeira: bin 4 e 5 em 925mb. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*

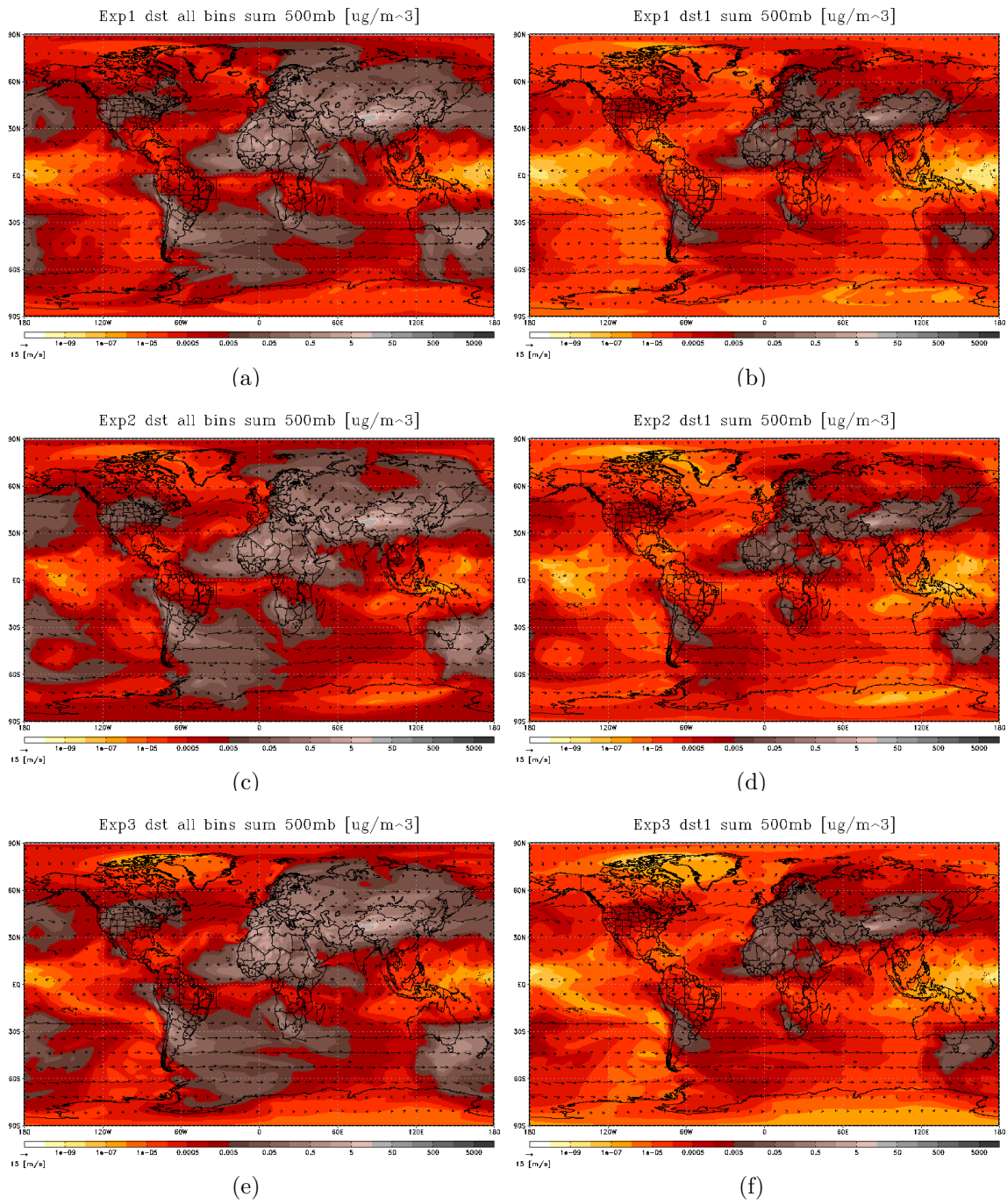


Figura E.4 - Transporte da poeira: *bin All e 1* em 500mb. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*

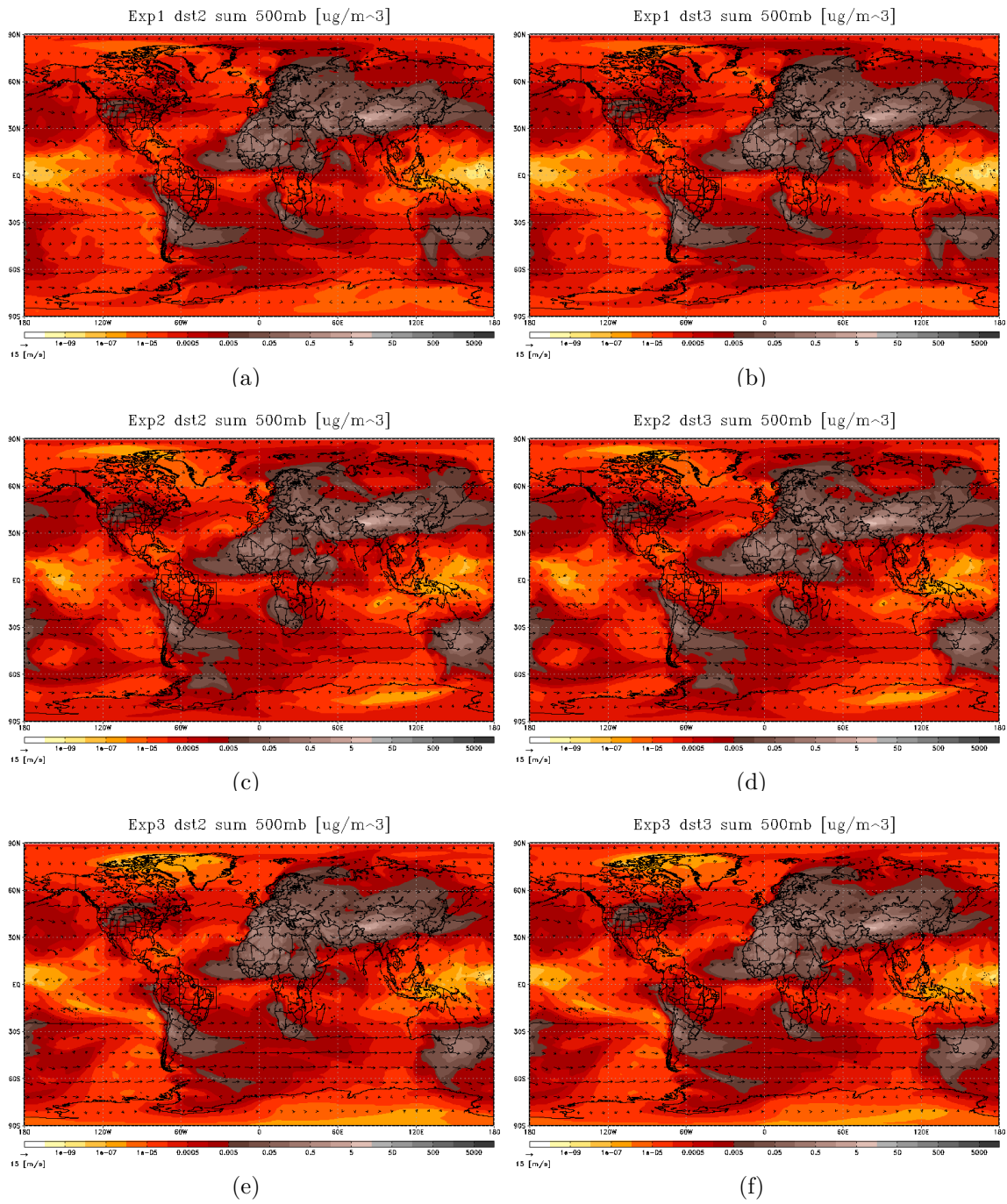


Figura E.5 - Transporte da poeira: bin 2 e 3 em 500mb. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*

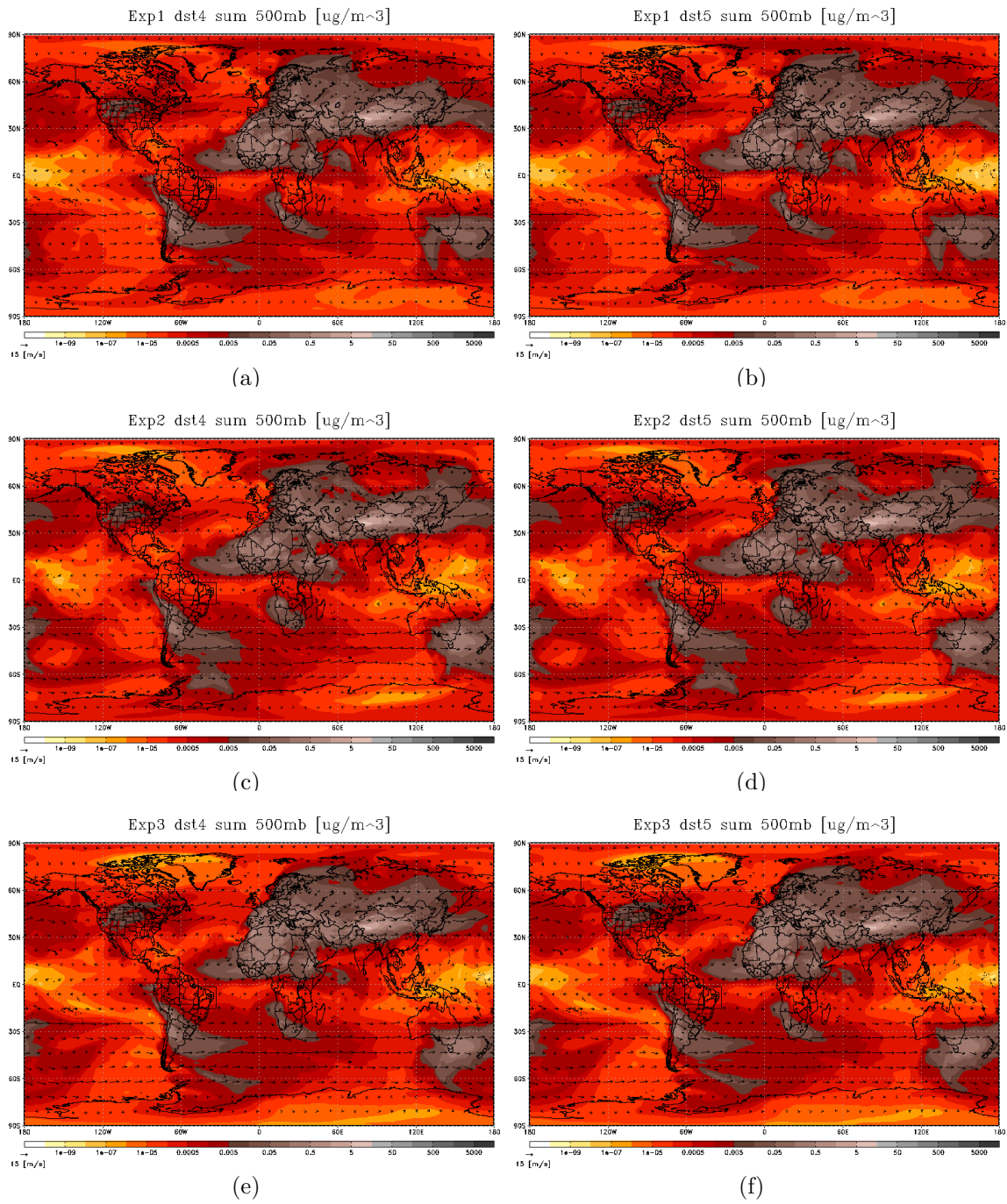


Figura E.6 - Transporte da poeira: bin 4 e 5 em 500mb. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*

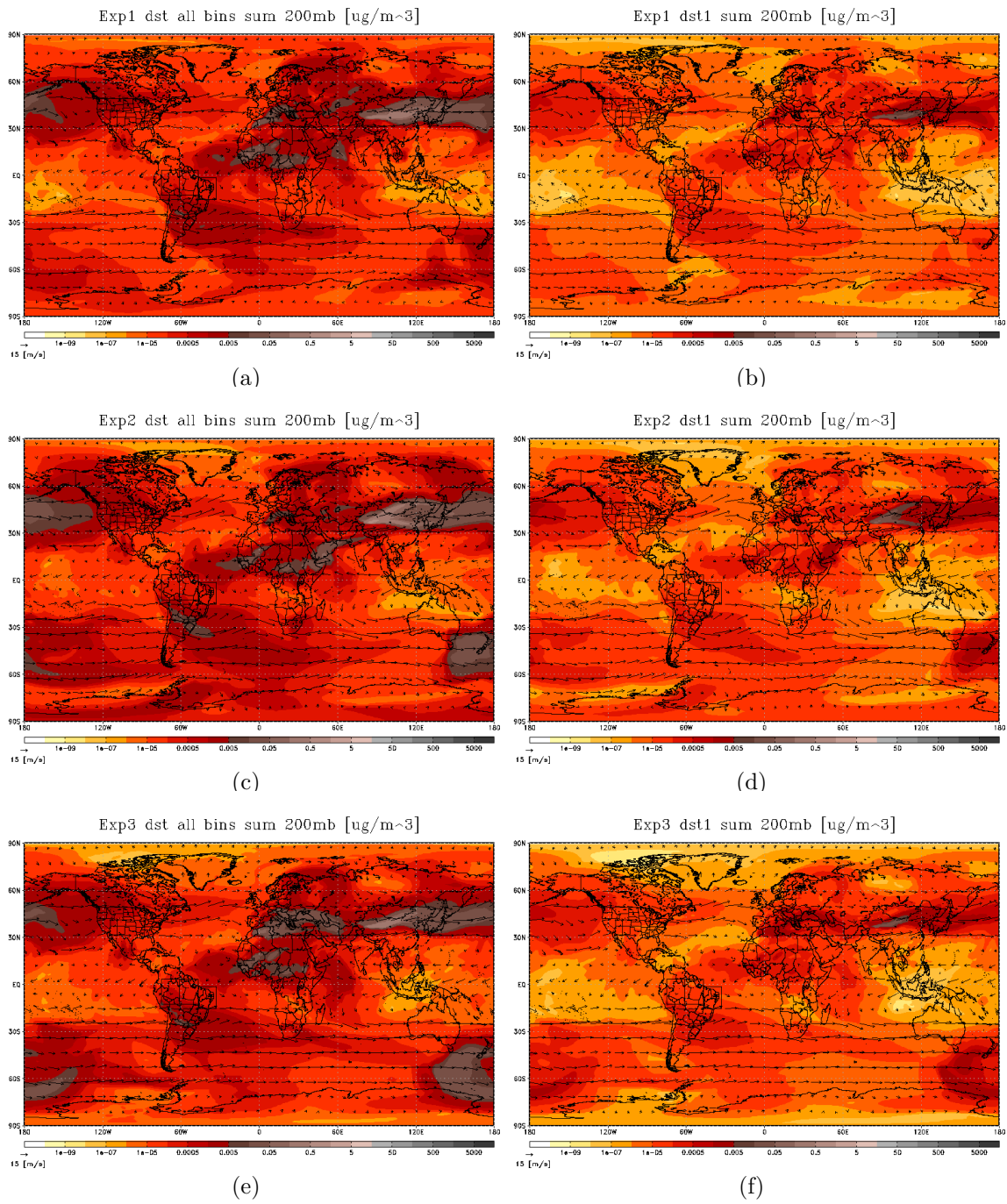


Figura E.7 - Transporte da poeira: *bin All e 1* em 200mb. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*

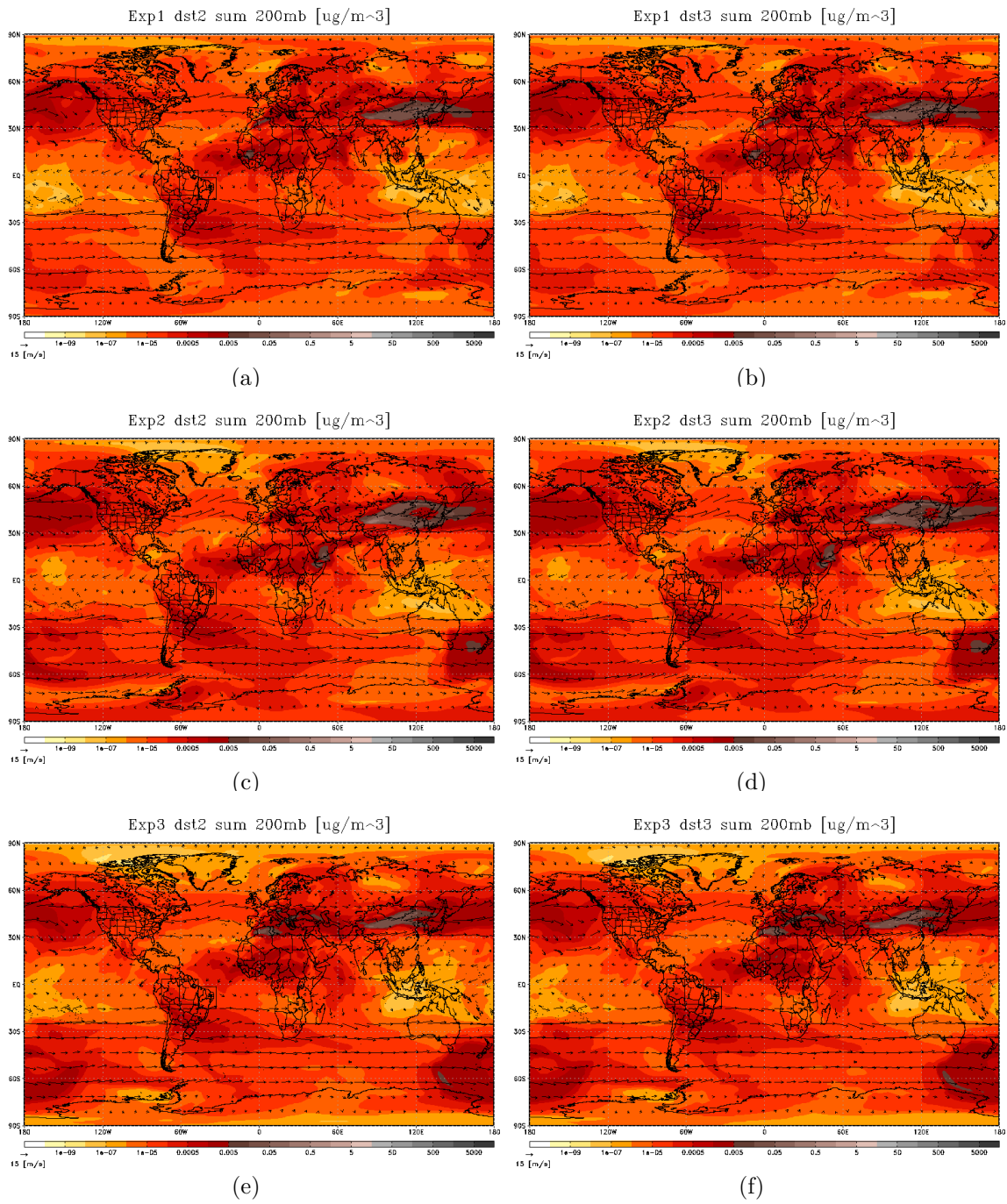


Figura E.8 - Transporte da poeira: bin 2 e 3 em 200mb. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*

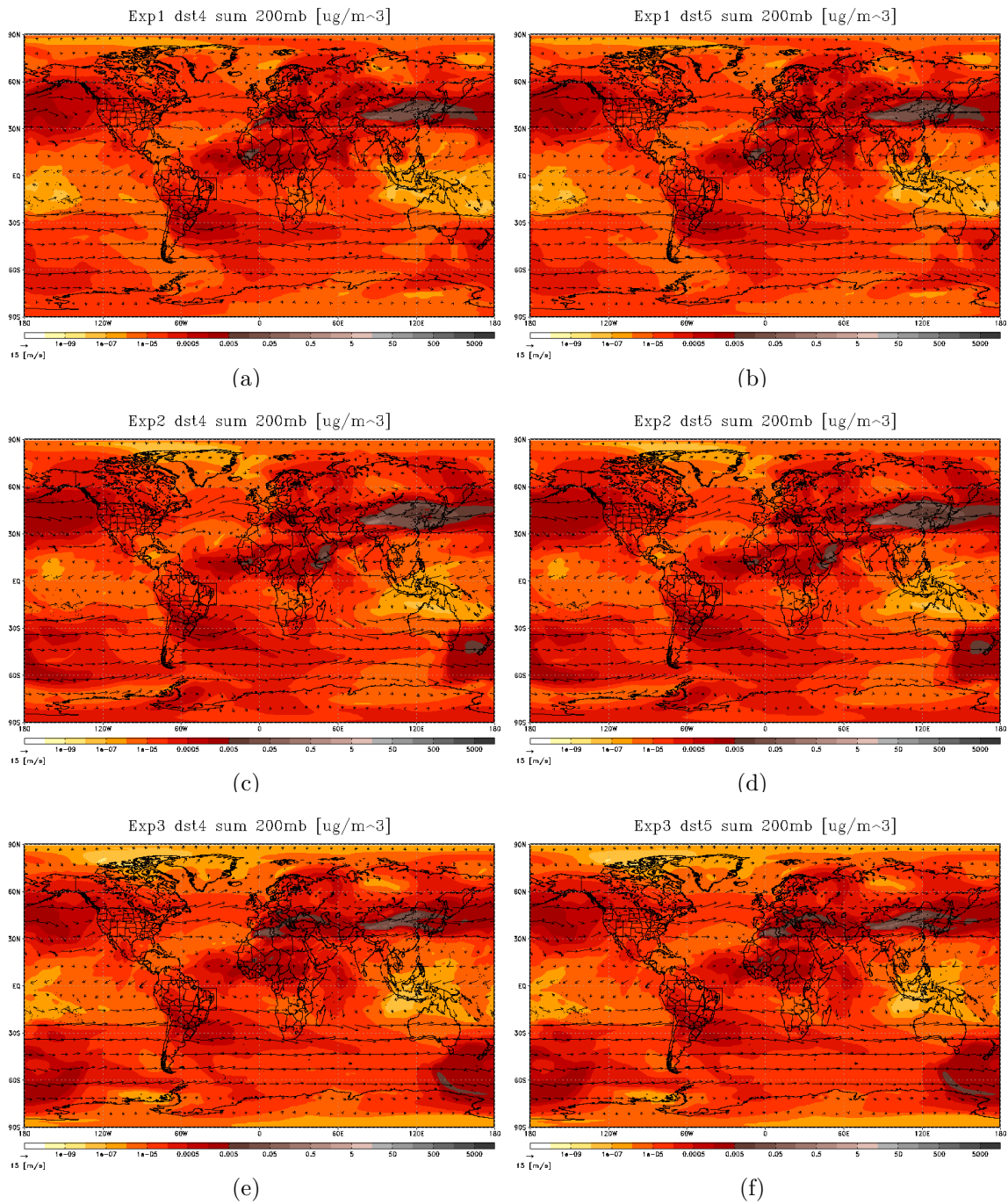


Figura E.9 - Transporte da poeira: bin 4 e 5 em 200mb. Totais: (a) e (b) *Exp1*, (c) e (d) *Exp2*, (e) e (f) *Exp3*

E.1.0.1 – Perfis zonais e meridionais do transporte da poeira.

Os perfis zonais e meridionais dos transportes de poeira médios das 5 classes de partículas individuais são mostradas para: Cabo Verde e Alta Floresta.

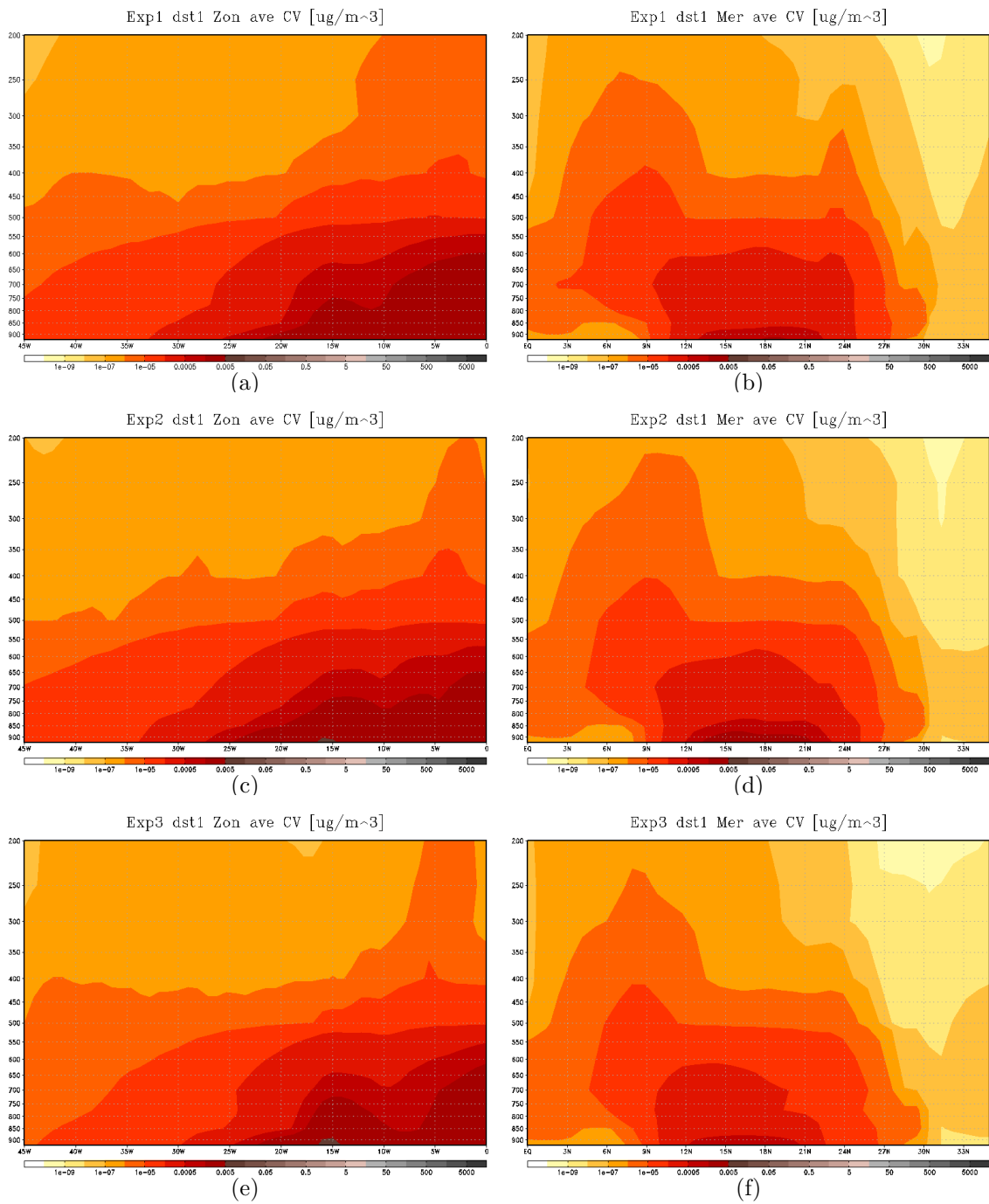


Figura E.10 - Perfis zonais do transporte da poeira sobre Cabo Verde: *bin 1*. Médias zonais (a), (c) e (e); meridionais (b), (d) e (f).

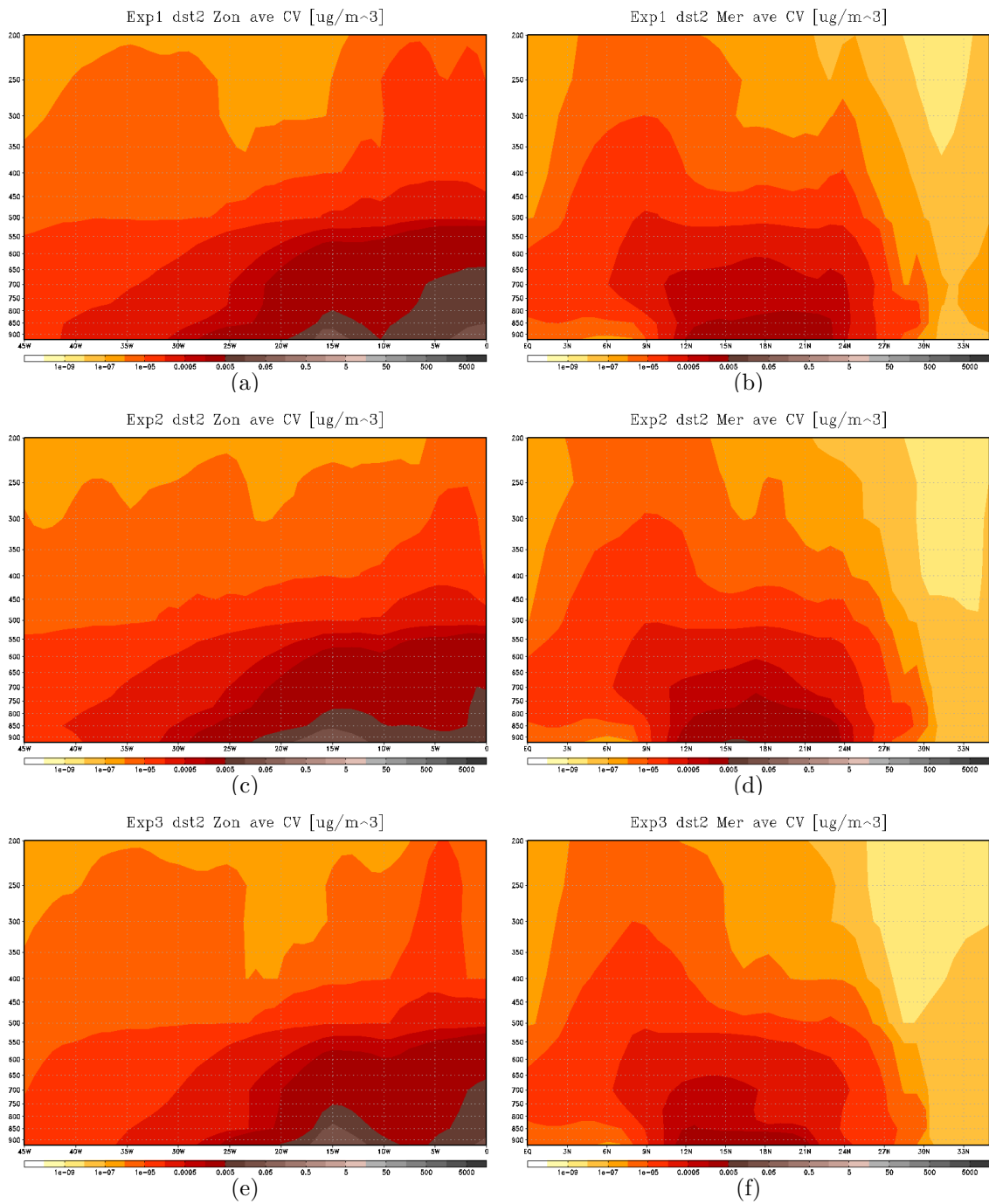


Figura E.11 - Perfis zonais do transporte da poeira sobre Cabo Verde: *bin 2*. Médias zonais (a), (c) e (e); meridionais (b), (d) e (f).

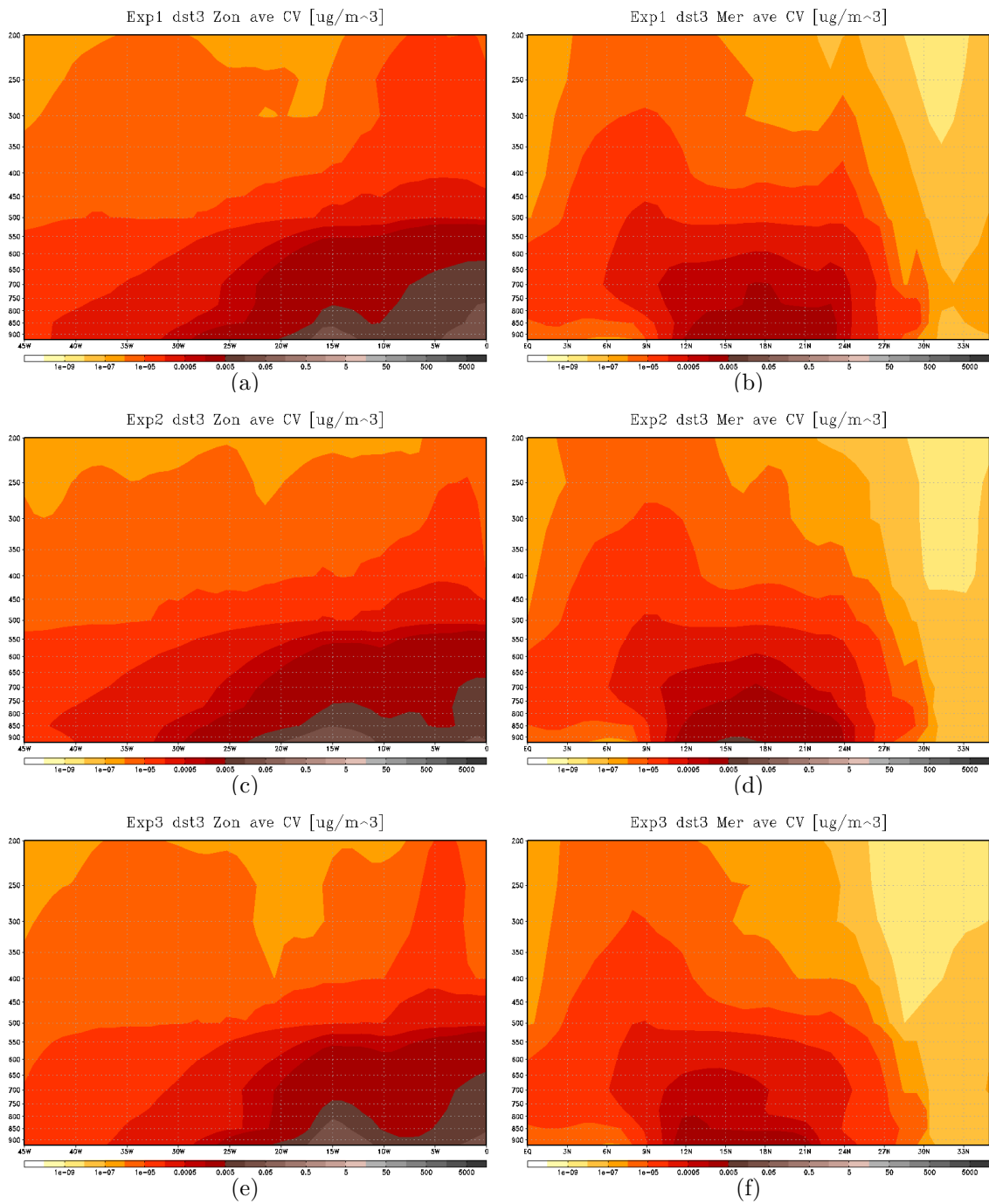


Figura E.12 - Perfis zonais do transporte da poeira sobre Cabo Verde: *bin 3*. Médias zonais (a), (c) e (e); meridionais (b), (d) e (f).

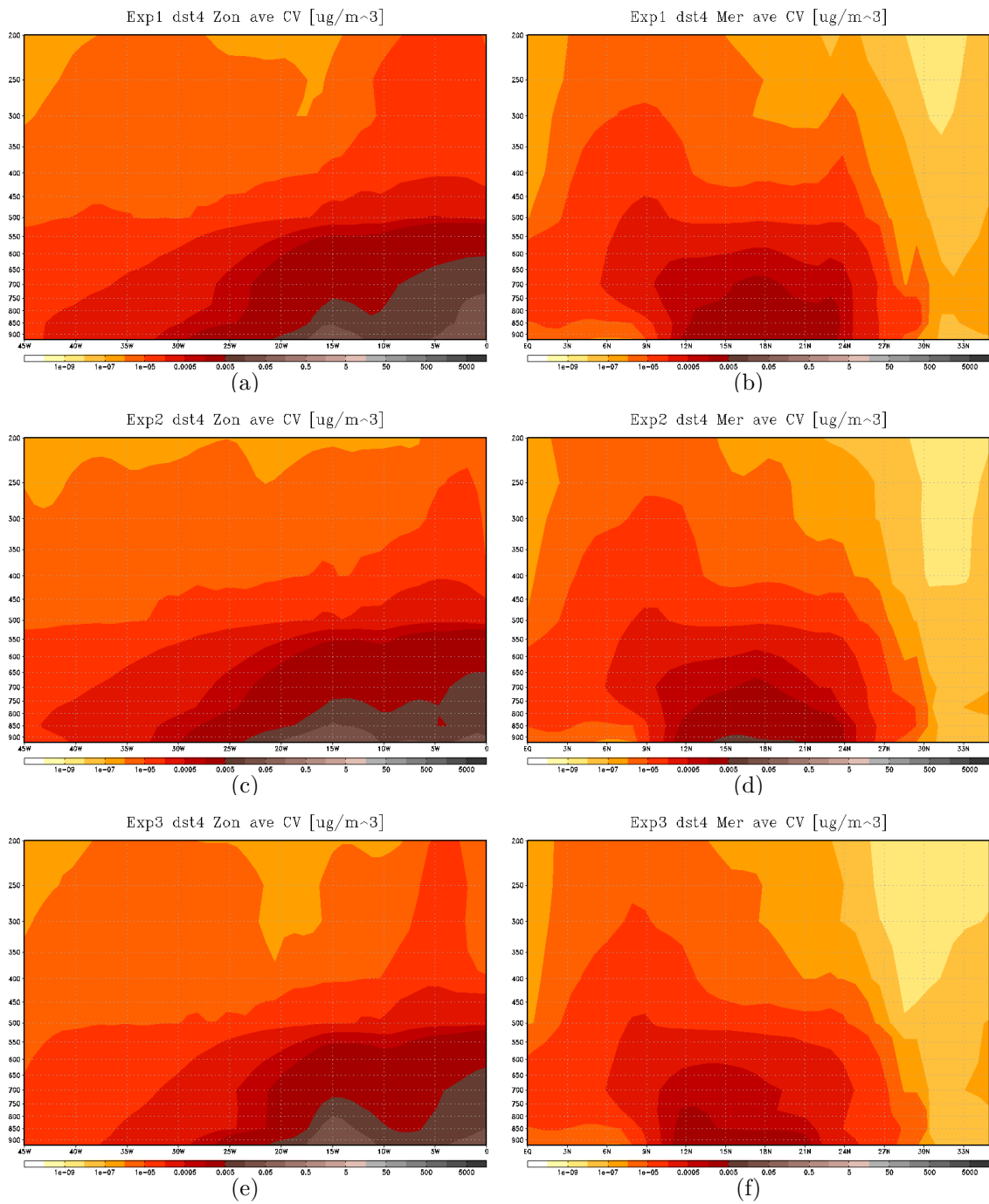


Figura E.13 - Perfis zonais do transporte da poeira sobre Cabo Verde: *bin 4*. Médias zonais (a), (c) e (e); meridionais (b), (d) e (f).

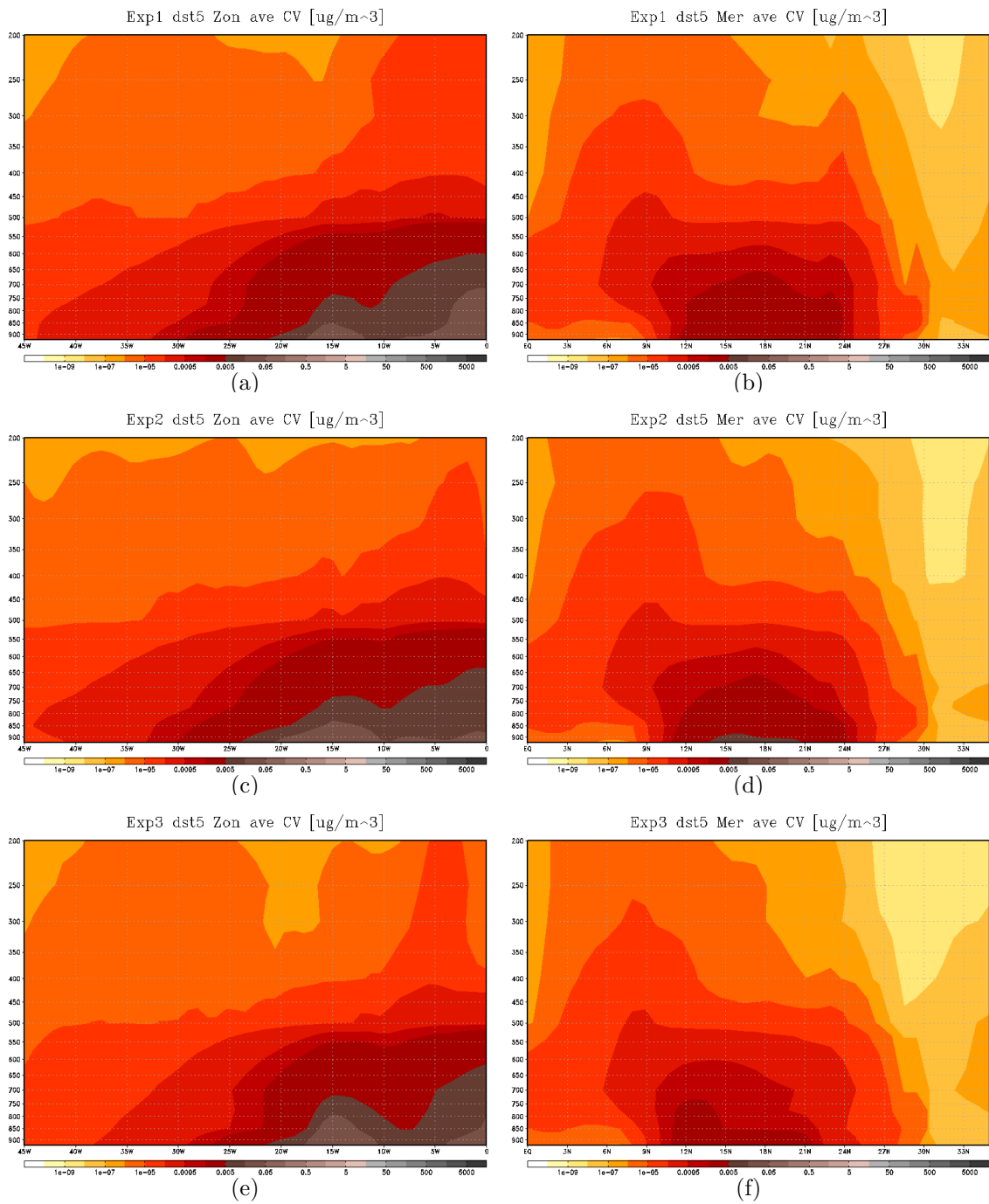


Figura E.14 - Perfis zonais do transporte da poeira sobre Cabo Verde: *bin 5*. Médias zonais (a), (c) e (e); médias meridionais (b), (d) e (f).

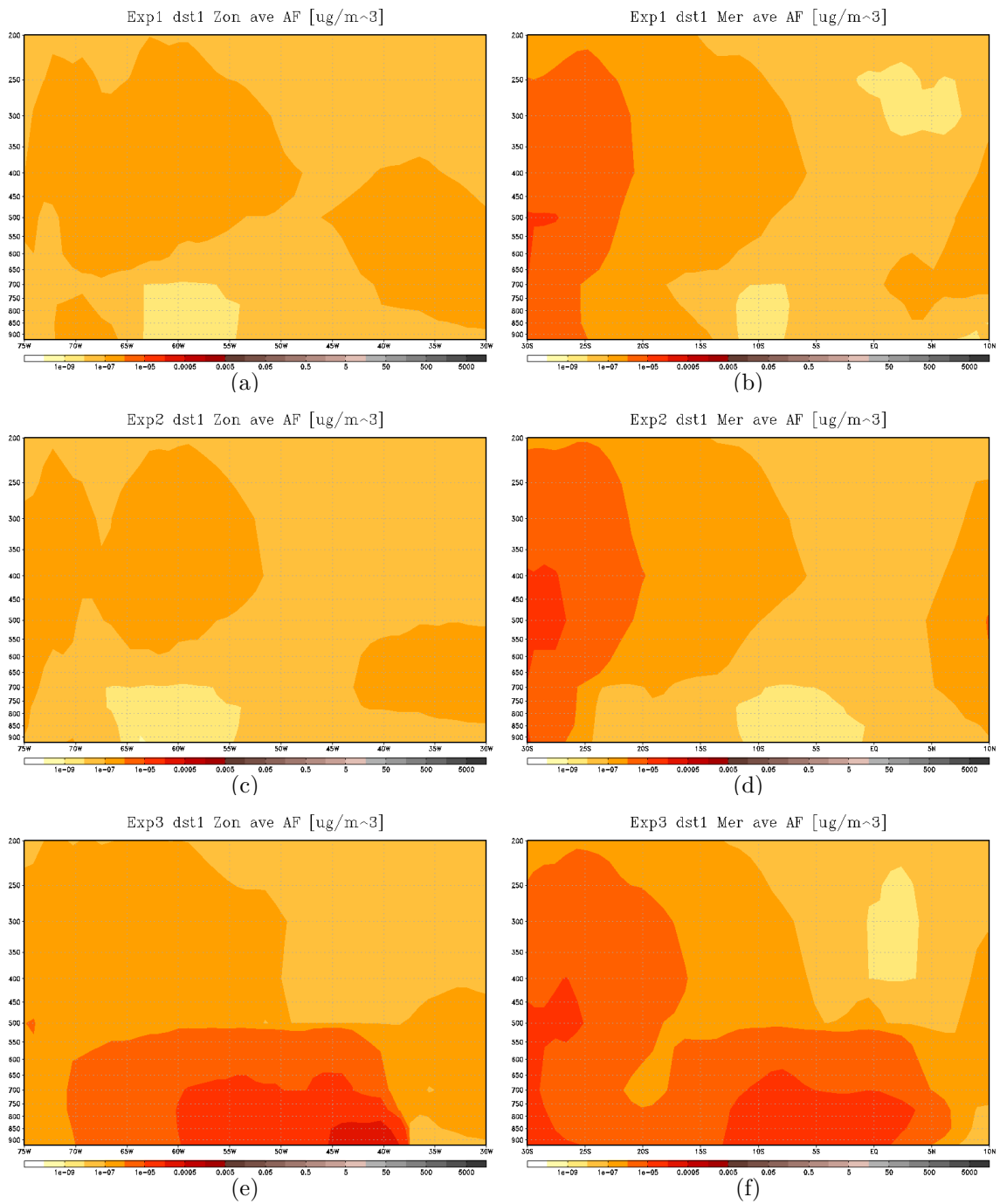


Figura E.15 - Perfis zonais do transporte da poeira sobre Alta Floresta: *bin 1*. Médias zonais (a), (c) e (e); meridionais (b), (d) e (f).

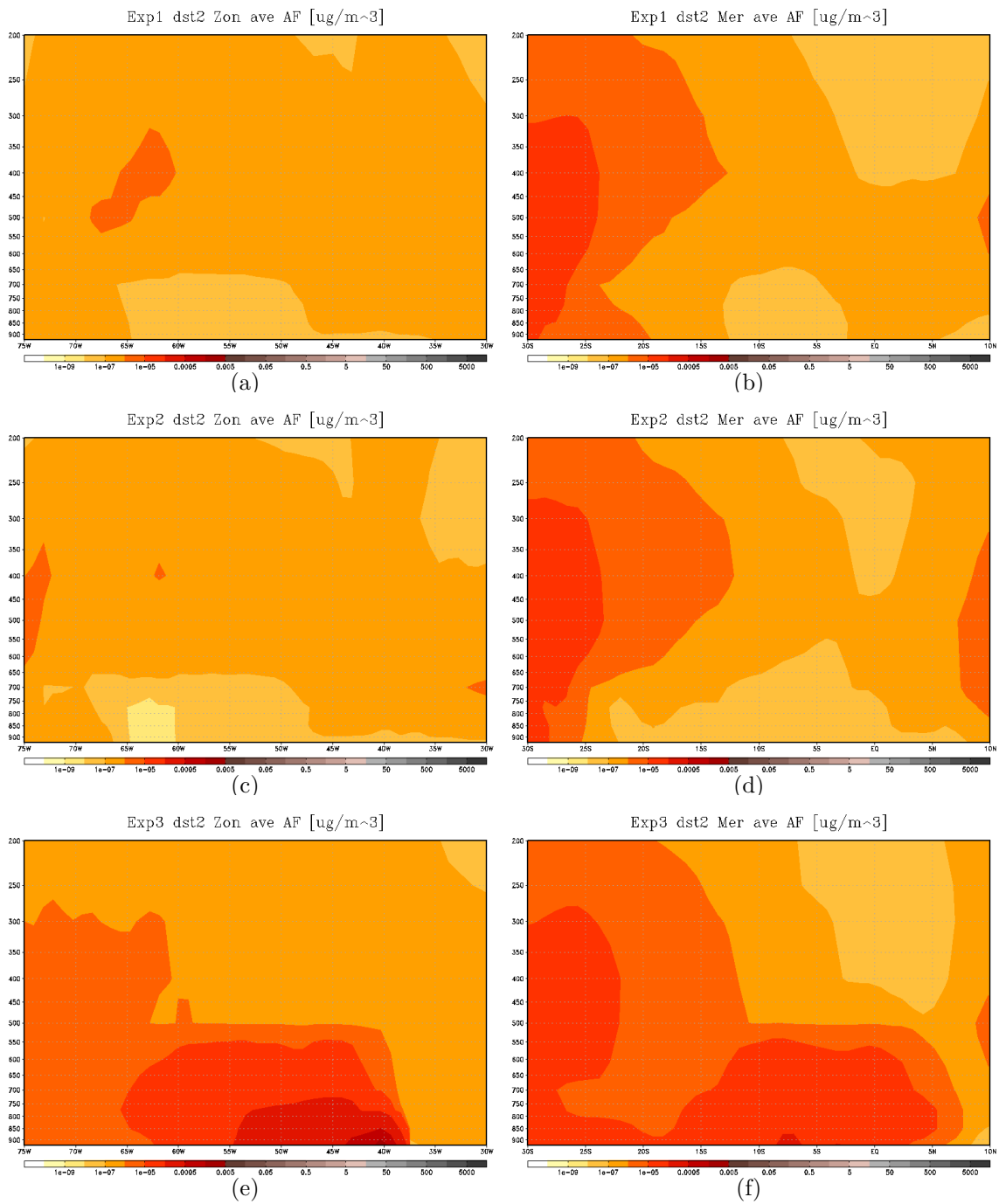


Figura E.16 - Perfis zonais do transporte da poeira sobre Alta Floresta: *bin 2*. Médias zonais (a), (c) e (e); meridionais (b), (d) e (f).

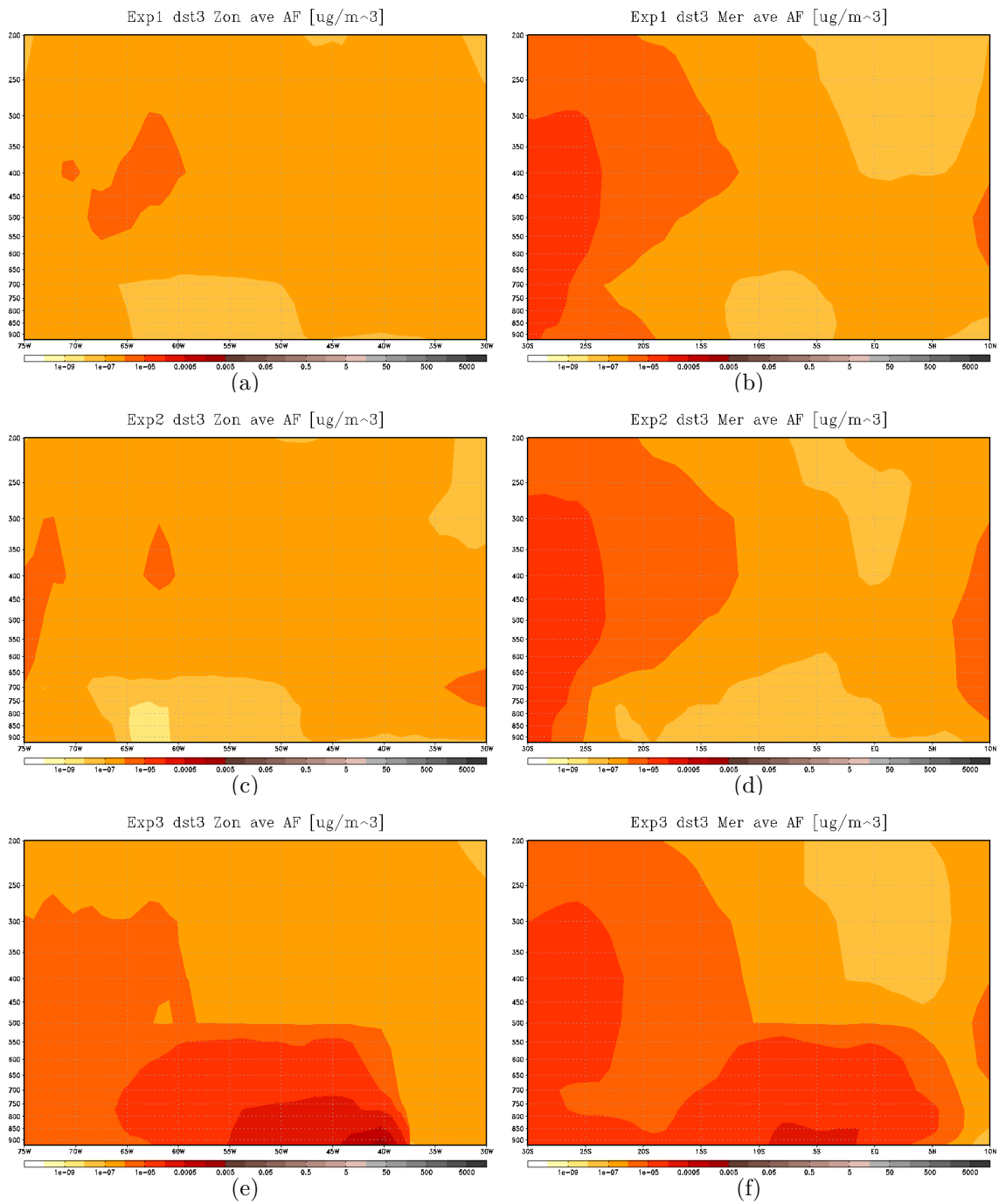


Figura E.17 - Perfis zonais do transporte da poeira sobre Alta Floresta: *bin 3*. Médias zonais (a), (c) e (e); meridionais (b), (d) e (f).

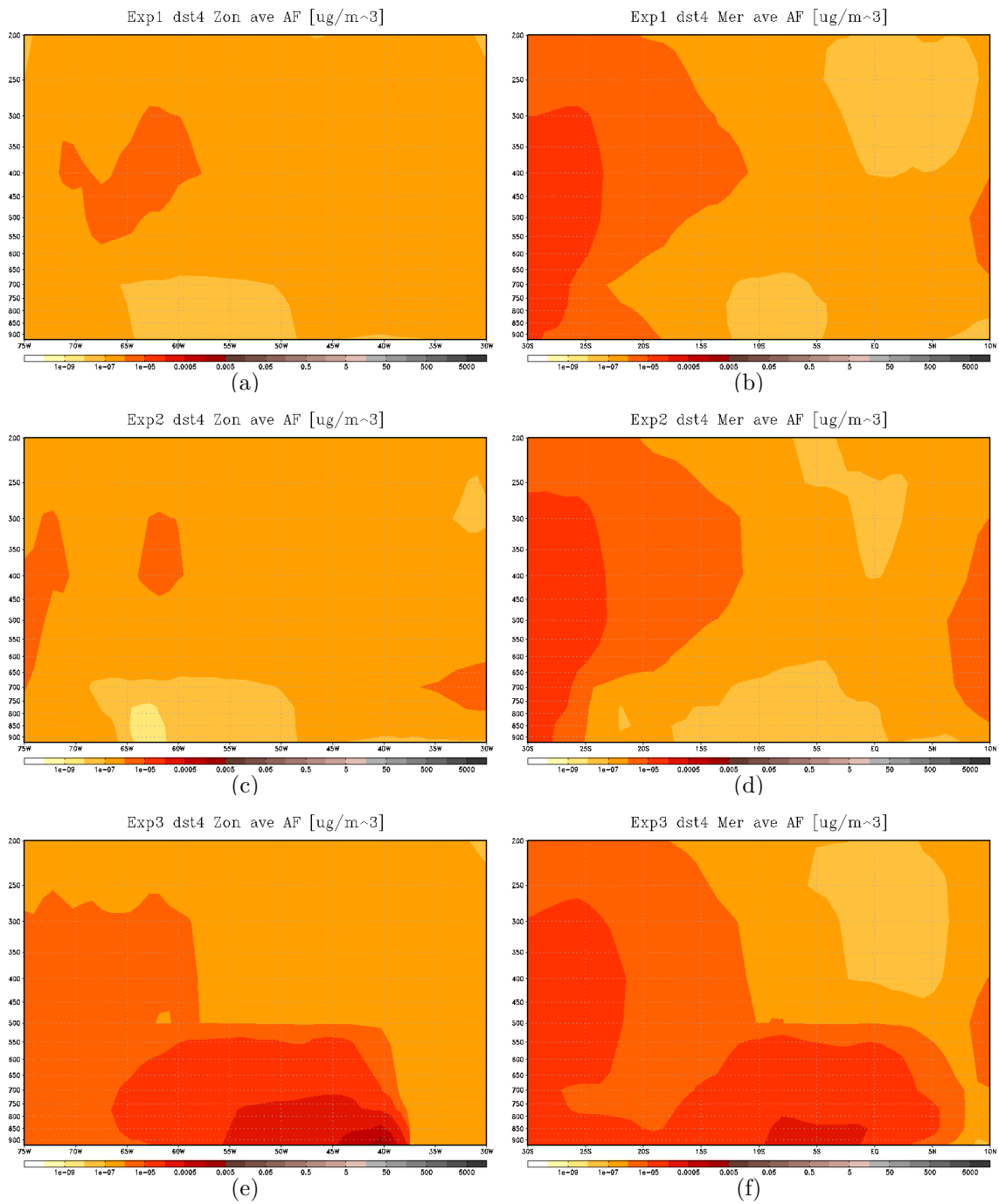


Figura E.18 - Perfis zonais do transporte da poeira sobre Alta Floresta: *bin 4*. Médias zonais (a), (c) e (e); meridionais (b), (d) e (f).

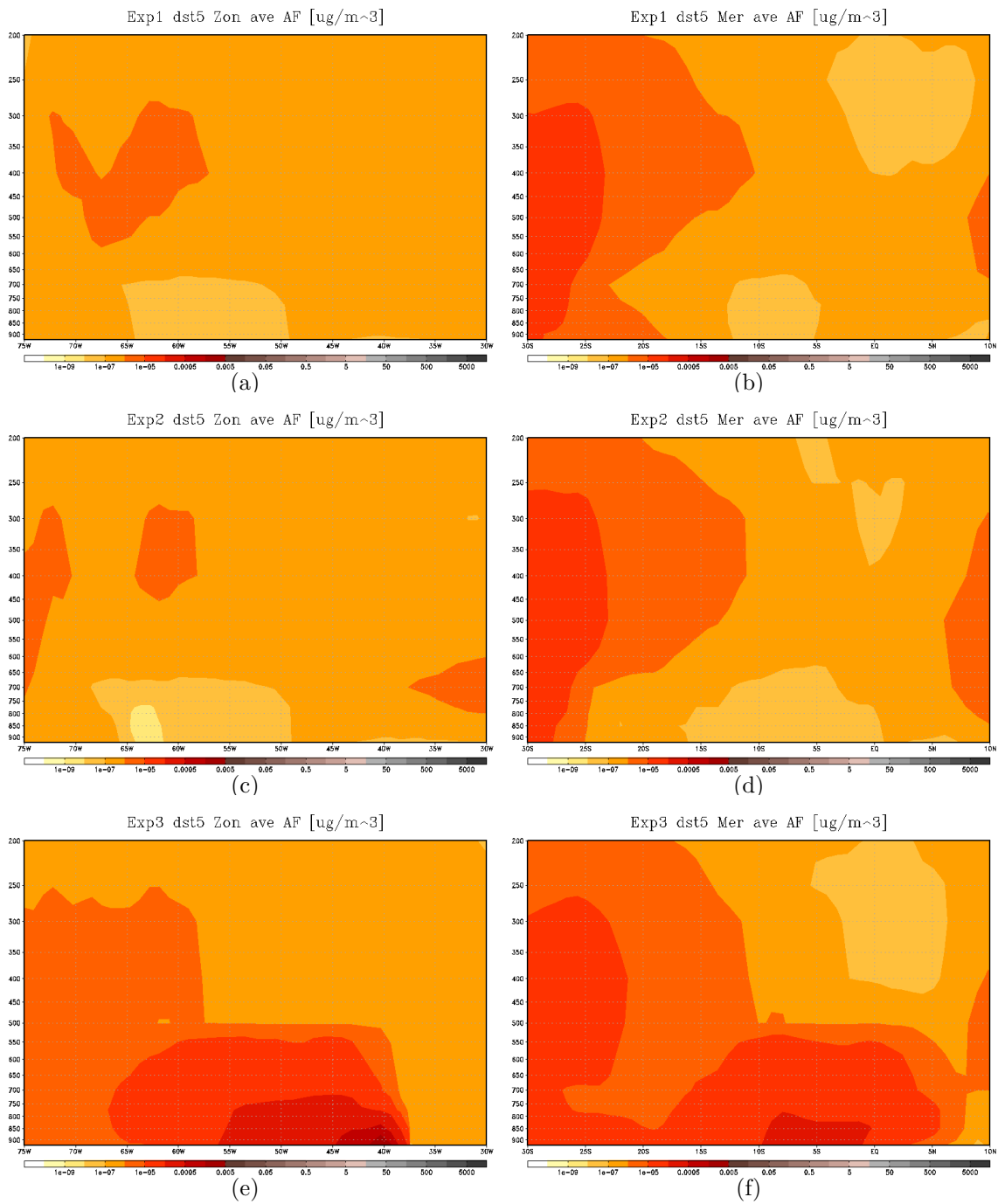


Figura E.19 - Perfis zonais do transporte da poeira sobre Alta Floresta: *bin 5*. Médias zonais (a), (c) e (e); médias meridionais (b), (d) e (f).

Tabela E.1 - Transporte de poeira total integrado por área e por classe.

<i>Conteúdo</i>	<i>Exp1</i>	<i>Exp2</i>	<i>Exp3</i>	<i>Exp2 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp1</i>	<i>Exp3 - Exp2</i>	
<i>dst all</i>	Glb	3.37768E+05	3.29959E+05	3.52600E+05	-7.80938E+03	1.48320E+04	2.26413E+04
	Ctg	3.02556E+00	2.13380E+00	3.58878E+02	-8.91759E-01	3.55853E+02	3.56744E+02
	Am1	1.58443E+00	1.09452E+00	2.43069E+02	-4.89907E-01	2.41484E+02	2.41974E+02
	Am2	3.52700E+00	3.45092E+00	2.88868E+01	-7.60777E-02	2.53598E+01	2.54359E+01
<i>dst 1</i>	Glb	2.02237E+04	1.97981E+04	2.13212E+04	-4.25629E+02	1.09747E+03	1.52310E+03
	Ctg	1.56607E-01	1.14829E-01	2.35704E+01	-4.17775E-02	2.34138E+01	2.34556E+01
	Am1	8.53490E-02	6.27595E-02	1.58933E+01	-2.25896E-02	1.58079E+01	1.58305E+01
	Am2	2.32741E-01	2.28505E-01	1.86106E+00	-4.23557E-03	1.62832E+00	1.63256E+00
<i>dst 2</i>	Glb	6.73742E+04	6.58527E+04	7.05102E+04	-1.52149E+03	3.13605E+03	4.65754E+03
	Ctg	5.78251E-01	4.12288E-01	7.38198E+01	-1.65963E-01	7.32416E+01	7.34075E+01
	Am1	3.05916E-01	2.14959E-01	4.98459E+01	-9.09570E-02	4.95400E+01	4.96309E+01
	Am2	7.19507E-01	7.04412E-01	5.88468E+00	-1.50954E-02	5.16517E+00	5.18027E+00
<i>dst 3</i>	Glb	7.64996E+04	7.47145E+04	7.98518E+04	-1.78516E+03	3.35215E+03	5.13731E+03
	Ctg	6.82144E-01	4.81461E-01	8.17692E+01	-2.00683E-01	8.10870E+01	8.12877E+01
	Am1	3.57342E-01	2.46870E-01	5.52264E+01	-1.10473E-01	5.48690E+01	5.49795E+01
	Am2	7.94486E-01	7.77580E-01	6.53997E+00	-1.69067E-02	5.74549E+00	5.76239E+00
<i>dst 4</i>	Glb	8.39255E+04	8.19535E+04	8.74621E+04	-1.97200E+03	3.53659E+03	5.50859E+03
	Ctg	7.68371E-01	5.38764E-01	8.78969E+01	-2.29607E-01	8.71285E+01	8.73581E+01
	Am1	4.00079E-01	2.73534E-01	5.94959E+01	-1.26546E-01	5.90958E+01	5.92223E+01
	Am2	8.59354E-01	8.40618E-01	7.07777E+00	-1.87356E-02	6.21842E+00	6.23715E+00
<i>dst 5</i>	Glb	8.97451E+04	8.76400E+04	9.34548E+04	-2.10509E+03	3.70971E+03	5.81480E+03
	Ctg	8.40191E-01	5.86463E-01	9.18219E+01	-2.53728E-01	9.09818E+01	9.12355E+01
	Am1	4.35742E-01	2.96400E-01	6.26072E+01	-1.39342E-01	6.21715E+01	6.23108E+01
	Am2	9.20912E-01	8.99807E-01	7.52333E+00	-2.11044E-02	6.60242E+00	6.62353E+00

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Contam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.