



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-10097-TDI/893

**RELAÇÃO EMPÍRICA DA VISIBILIDADE COM
PROFUNDIDADE ÓPTICA, CONCENTRAÇÃO DE AEROSSÓIS E
FOCOS DE QUEIMADAS EM ALTA FLORESTA E CUIABÁ,
EM 1993 E 1994**

Marcos Luiz de Andrade Pinto

Dissertação de Mestrado do Curso da Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelo Dr. Alberto Waingort Setzer, aprovada em 25 de setembro de 2001.

528.711.7 (817)

PINTO, M. L. A.

Relação empírica da visibilidade com profundidade óptica , concentração de aerossóis e focos de queimadas em Alta Floresta e Cuiabá, em 1993 e 1994 / M.L.A.Pinto.

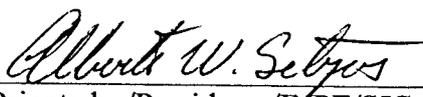
- São José dos Campos: INPE, 2001.

141p. – (INPE-10097-TDI/897).

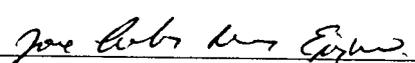
1.Visibilidade. 2.Aerossóis. 3.Focos de queimada.
4.Turbidez atmosférica. 5. Espalhamento. Mato Grosso (MT). I.Título

Aprovado pela Banca Examinadora em cumprimento a requisito exigido para a obtenção do Título de **Mestre em Sensoriamento Remoto**.

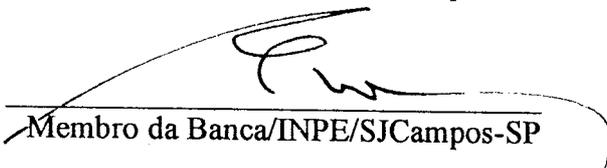
Dr. Alberto Waingort Setzer


Orientador/Presidente/INPE/SJCampos-SP

Dr. José Carlos Neves Epiphânio


Membro da Banca/INPE/SJCampos-SP

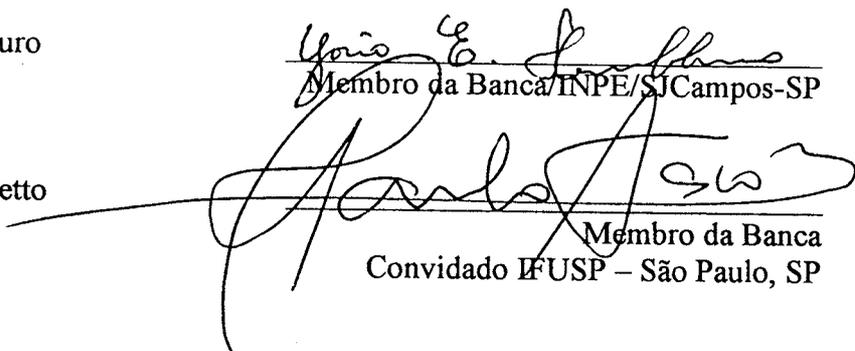
Dr. Ênio Bueno Pereira


Membro da Banca/INPE/SJCampos-SP

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro


Membro da Banca/INPE/SJCampos-SP

Dr. Paulo Eduardo Artaxo Netto


Membro da Banca
Convidado IFUSP – São Paulo, SP

Candidato: Marcos Luiz de Andrade Pinto

São José dos Campos, 25 de setembro de 2001.

*“À minha esposa Marta,
minha filha Ana Clara,
minha mãe Iracema,
e a meu pai Nelson Luiz.”*

AGRADECIMENTOS

Às Instituições que contribuíram para realização deste trabalho: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), mais especificamente a Divisão de Ciências Atmosféricas; Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP), através do Grupo de Estudos de Poluição do Ar (GEPA).

Ao Dr. Alberto W. Setzer (INPE), pela orientação, confiança, compreensão e incentivos à realização deste estudo.

Ao Dr. Nelson F. de Jesus (INPE), pela confiança e incentivo recebidos.

Ao Dr. Ênio Bueno Pereira (INPE), pelas sugestões de grande utilidade neste trabalho.

Ao Dr Paulo E. Artaxo (IFUSP), pelo apoio recebido, quanto aos dados de concentração de particulado.

Ao Dr. Gutemberg Borges França (UFRJ), pelo incentivo e apoio recebidos.

Ao Pesq. Luís Carlos de Castro (IAE), pela confiança e incentivos recebidos.

À Etel (INPE) e à Marilene (INPE), pelo carinho e bom humor diário.

Ao amigo Flávio Conceição Antônio (IAE), pela ajuda e incentivos recebidos nos momentos de cansaço.

Aos colegas de curso, pesquisadores e demais funcionários da pós-graduação do SERE pelo apoio, amizade e incentivos recebidos.

À minha família (Marta, Ana Clara, Iracema e Nelson) por estarem sempre ao meu lado, principalmente nos momentos mais difíceis.

A todas as pessoas que auxiliaram direta e indiretamente para que este trabalho se concretizasse.

RESUMO

Esta dissertação tem por objetivo estimar as relações empíricas entre visibilidade horizontal registrada em aeroportos, e concentração de particulado fino à superfície, profundidade óptica de aerossóis, e registros de focos de calor, no período de queimadas no Brasil central, em 1993 e 1994. Foram utilizados: dados de visibilidade, umidade relativa e total de nuvens, do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE); dados ópticos da coluna de aerossóis da rede de fotômetros solares AERONET; dados da concentração de aerossóis à superfície do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP); e registros diários de focos de queimadas obtidos com satélite, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), apenas de 1993. As regiões de estudo foram Alta Floresta e Cuiabá, no Mato Grosso. Os seguintes elementos serviram de base nas investigações: equações empíricas, relacionando visibilidade, coeficiente de extinção, e comprimento de onda “ λ ” da radiação óptica; correlações estatísticas entre as variáveis; e análises de parâmetros meteorológicos. Entre visibilidade e profundidade óptica, os coeficientes de correlação indicaram que existe dependência inversa significativa entre as variáveis, ao nível de 99 %; além disso, a melhor curva de regressão foi a exponencial, com coeficientes de determinação variando entre $R^2 = 0,71$, com $\lambda = 672$ nm, às 15h TMG em Cuiabá, e $R^2 = 0,82$, para $\lambda = 672$ nm às 15h TMG em Alta Floresta. Para visibilidade e concentração de particulado fino, a 99 % os coeficientes de correlação foram significativamente diferentes de zero; a regressão de potência foi a de melhor ajuste em Cuiabá, com $R^2 = 0,71$, para os dados das 15h TMG, como teoricamente esperado; para Alta Floresta a melhor curva foi a logarítmica, com $R^2 = 0,86$, para os registros das 15h TMG, e não a de potência, como indicado na literatura. Entre visibilidade e total diário de focos, a curva logarítmica apresentou $R^2 = 0,81$, para Alta Floresta; em Cuiabá as curvas de tendência apresentaram correlação muito baixa, possivelmente em decorrência do transporte de emissões de áreas distantes. Alguns fatores limitaram as análises: medidas de visibilidade e profundidade óptica em direções distintas; dependência da visibilidade com a direção de observação e seu limite máximo de 20 km; e efeitos do transporte de aerossóis. Pela primeira vez foi estudada a redução da visibilidade horizontal pelas queimadas, obtendo-se relações que poderão ser aperfeiçoadas e empregada em estudos futuros, abrindo possibilidades de aplicações científicas diversas.

THE EMPIRIC RELATIONS BETWEEN VISIBILITY WITH AEROSOL OPTICAL THICKNESS, AND CONCENTRATION OF AEROSOL, AND NUMBER OF BURNINGS IN ALTA FLORESTA AND CUIABÁ, IN 1993 AND 1994

ABSTRACT

The purpose of this dissertation is to estimate the empiric relations between horizontal visibility records in airports with concentration of fine particulates in the surface, Aerosol Optical Thickness (AOT), and the number of burnings, during the dry (fire) season in Central Brazil, in 1993 and 1994. The data used were: visibility, relative humidity and total cloud of airport available at the Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE); measurements of the AOT obtained by AERONET's sun-photometers; concentration of aerosol at surface level from the Instituto de Física Universidade de São Paulo (IFUSP); and data of daily number of burnings obtained from satellite by Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). The regions of the study were Alta Floresta and Cuiabá, at Mato Grosso. The following elements supported the investigations: empiric functions that relate visibility, extinction coefficient, and wavelength " λ " of the optic radiation; statistical correlation between the variables; and analyses of meteorological parameters. For visibility and AOT the correlation coefficient showed that there is significant inverse dependency between the variables, at 99 % level; the exponential curve showed the best regression fit, with the determination coefficient varying between $R^2 = 0,71$ with $\lambda = 672\text{nm}$, at 15h GMT in Cuiabá, to $R^2 = 0,82$ at $\lambda = 672\text{nm}$, at 15h GMT, in Alta Floresta. For visibility and concentration of fine particulates, at 99 %, the correlations coefficients were significantly different of zero; a power curve best fit the Cuiabá data, with $R^2 = 0,71$ at 15h GMT, in accordance to the theory; for Alta Floresta the best curve fit was a logarithmic one, with $R^2 = 0,86$, at 15h GMT, and not a power fit as expected from theory. For visibility and the daily number of burnings, the logarithmic curve showed $R^2 = 0,81$ in Alta Floresta; at Cuiabá the regression curves showed less correlation due to transport of the particulate from distant regions. Some factors limited the analyses: measurements of the visibility and AOT in distinct directions; change of visibility in relation to the direction of observation and its maximum limit of 20km; and the effects of the aerosols transport. This is a novel study showing the reduction of the visibility caused by biomass burnings, and presenting equations that can be further improved to foster different scientific applications.

SUMÁRIO

Pág

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

LISTA DE SÍMBOLOS

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVO	25
1.1 – Introdução.....	25
1.2 – Objetivo.....	32
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	33
2.1 – Aerossóis.....	33
2.1.1 – Perfil Vertical da Concentração de Aerossóis da Atmosfera.....	35
2.2 – Espalhamento Atmosférico.....	36
2.3 – Absorção Atmosférica.....	37
2.4 – Transmitância Atmosférica.....	38
2.5 – Turbidez Atmosférica.....	41
2.6 – Visibilidade.....	42
2.6.1 – Visibilidade e outras Variáveis Meteorológicas.....	46
2.6.1.1 – Visibilidade e Umidade Relativa.....	47
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS	49

3.1 – Materiais.....	49
3.1.1 – Área de Estudo.....	49
3.1.2 – Registros de Visibilidade.....	50
3.1.2.1 – Arquivo de Dados Meteorológicos das Estações de Superfície para Fins Aeronáuticos.....	51
3.1.3 – Dados de Espessura Óptica de Aerossóis.....	52
3.1.4 – Dados de Concentrações de Aerossóis.....	53
3.1.5 – Dados de Focos de Queimadas.....	55
3.1.6 – Equipamentos e Programas.....	57
3.1.7 – Ferramentas Estatísticas.....	57
3.1.7.1 – Ajuste de Curvas.....	57
3.1.7.2 – Correlação Estatística.....	58
3.2 – Métodos.....	60
3.2.1 – Relação Empírica entre Visibilidade e Profundidade Óptica de Aerossóis.....	62
3.2.2 – Relação empírica entre visibilidade e concentração de particulado fino.....	64
3.2.3 – Relação Empírica entre Visibilidade e Registros de Focos de Queimadas.....	65
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
4.1 – Relação Empírica entre Visibilidade e Profundidade Óptica de Aerossóis na Área de Estudo.....	69

4.1.1 – Resultados Obtidos para Alta Floresta.....	69
4.1.2 – Resultados Obtidos para Cuiabá.....	79
4.2 – Relação Empírica entre Visibilidade e Concentração de Particulado Fino na Área de Estudo.....	88
4.2.1 – Resultados Obtidos para Alta Floresta.....	89
4.2.2 – Resultados Obtidos para Cuiabá.....	93
4.3 – Relação Empírica entre Visibilidade e Registros de Focos de Queimadas na Área de Estudo.....	98
4.3.1 – Resultados Obtidos para Alta Floresta.....	99
4.3.2 – Resultados Obtidos para Cuiabá.....	103
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	107
5.1 – Relação Empírica entre Visibilidade e Profundidade Óptica de Aerossóis	107
5.2 – Relação Empírica entre Visibilidade e Concentração de Particulado Fino	109
5.3 – Relação Empírica entre Visibilidade e Registros de Focos de Queimadas	110
5.4 – Considerações Finais.....	111
5.5 – Sugestões.....	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
APÊNDICE A- Carta de Visibilidade.....	119
APÊNDICE B- Amostrador de Particulado.....	121

APÊNDICE C – Arquivo de Focos de Queimadas.....	123
APÊNDICE D – Tabelas de Visibilidade e Profundidade Óptica.....	125
APÊNDICE E – Tabelas de Visibilidade e Concentração de Aerossóis.....	132
APÊNDICE F – Tabelas de Visibilidade e Total Diário de Focos.....	138

LISTA DE FIGURAS

1.1 – Modelo de representação de registros meteorológicos sinóticos; NRL (1999).....	28
1.2 – Mapa global da estimativa de aerossóis (fumaça, poeira e névoa); NRL (1999).....	29
1.3 – Mapa de prognóstico de fumaça; CPTEC (2000).....	31
2.1 – Representação da atenuação sofrida pela radiação óptica na atmosfera.....	39
2.2 – Dependência angular dos valores de espessura óptica.....	40
2.3 – Curva teórica da visibilidade em relação ao coeficiente de extinção da luz para o comprimento de onda de 550nm.....	45
3.1 – Mapa do Brasil mostrando as localizações das cidades de Cuiabá e Alta Floresta e seus respectivos indicativos da OACI.....	50
3.2 – Mapa do Brasil com a localização das estações amostradoras de aerossóis atmosféricos de Alta Floresta, Serra do Navio e Cuiabá (círculos verdes) e dos fotômetros solares da Aeronet (estrelas azuis).....	54
3.3 – Total de focos de calor no Brasil pelo AVHRR; CPTEC (2001).....	56
3.4 – Curva de ajuste para o método qui-quadrado; adaptada de Spiegel (1985).....	58
3.5 – Fluxograma das fases seguidas no estudo empírico entre visibilidade e profundidade óptica, ou concentração de particulado à superfície, ou total de total de focos de queimadas.....	61
4.1 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 672\text{nm}$) em Alta Floresta, 1993, 15h TMG, incluindo todos os dados.....	70
4.2 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 672\text{nm}$) em Alta Floresta, 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.....	70
4.3 – Visibilidade e profundidade óptica ($\lambda = 672\text{nm}$) em Alta Floresta, 1993 e	

1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.....	71
4.4 – Visibilidade e profundidade óptica ($\lambda = 441\text{nm}$) em Alta Floresta, 1993 e 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.....	73
4.5 – Visibilidade e profundidade óptica ($\lambda = 672\text{nm}$) em Alta Floresta, 1993 e 1994, 18h TMG, incluindo todos os dados.....	73
4.6 – Visibilidade e profundidade óptica ($\lambda = 441\text{nm}$) em Alta Floresta, 1993 e 1994, 18h TMG, incluindo todos os dados.....	74
4.7 – Curva resultante da visibilidade e profundidade óptica de Alta Floresta ($\lambda = 441\text{nm}$) em 1993 e 1994, 15h TMG, sem os “outliers”.....	76
4.8 – Curva resultante da visibilidade e profundidade óptica de Alta Floresta ($\lambda = 672\text{nm}$) em 1993 e 1994, 15h TMG, sem os “outliers”.....	77
4.9 – Curva resultante da visibilidade e profundidade óptica de Alta Floresta ($\lambda = 441\text{nm}$) em 1993 e 1994, 18h TMG, sem os “outliers”.....	77
4.10 – Curva resultante da visibilidade e profundidade óptica de Alta Floresta ($\lambda = 672\text{nm}$) em 1993 e 1994, 18h TMG, sem os “outliers”.....	78
4.11 – Visibilidade e profundidade óptica de Cuiabá ($\lambda = 672\text{nm}$) em 1993 e 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.....	80
4.12 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 441\text{nm}$) em Cuiabá em 1993 e 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.....	80
4.13 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 672\text{nm}$) em Cuiabá em 1993 e 1994, 18h TMG, incluindo todos os dados.....	81
4.14 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 441\text{nm}$) em Cuiabá em 1993 e 1994, 18h TMG, incluindo todos os dados.....	81
4.15 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 441\text{nm}$) em Cuiabá em 1994, 18h TMG, incluindo todos os dados.....	83
4.16 – Visibilidade e concentração de particulado fino de Cuiabá em 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.....	84

4.17 – Curva resultante da visibilidade e profundidade óptica de Cuiabá ($\lambda = 672\text{nm}$) em 1993, 15h TMG, sem os “outliers”	85
4.18 – Curva resultante da visibilidade e profundidade óptica de Cuiabá ($\lambda = 441\text{nm}$) em 1993, 15h TMG, sem os “outliers”	86
4.19 – Curva resultante da visibilidade e profundidade óptica de Cuiabá ($\lambda = 672\text{nm}$) em 1993, 18h TMG, sem os “outliers”	86
4.20 – Curva resultante da visibilidade e profundidade óptica de Cuiabá ($\lambda = 441\text{nm}$) em 1993, 18h TMG, sem os “outliers”	87
4.21 – Visibilidade e concentração de particulado fino de Alta Floresta em 1993 e 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.....	89
4.22 – Visibilidade e concentração de particulado fino de Alta Floresta em 1993 e 1994, 18h TMG, incluindo todos os dados.....	90
4.23 – Curva resultante da visibilidade e concentração de particulado fino de Alta Floresta em 1993 e 1994, 15h TMG, sem os “outliers”	92
4.24 – Curva resultante da visibilidade e concentração de particulado fino de Alta Floresta em 1993 e 1994, 18h TMG, sem os “outliers”	92
4.25 – Visibilidade e concentração de particulado fino de Cuiabá em 1993 e 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.....	94
4.26 – Visibilidade e concentração de particulado fino de Cuiabá em 1993 e 1994, 18h TMG, incluindo todos os dados.....	94
4.27 – Curva resultante da visibilidade e concentração de particulado fino de Cuiabá em 1993 e 1994, 15h TMG, sem os “outliers”	96
4.28 – Curva resultante da visibilidade e concentração de particulado fino de Cuiabá em 1993 e 1994, 18h TMG, sem os “outliers”	97
4.29 – Variação diária da visibilidade e do total de focos de calor das 18h TMG, em julho e agosto de 1993, em Alta Floresta.....	100
4.30 – Visibilidade e total diário de focos em Alta Floresta, julho e agosto de 1993, 18h TMG, incluindo todos os dados.....	101

4.31 – Curva resultante da visibilidade e total diário de focos de Alta Floresta, 18h TMG em julho e agosto de 1993, sem os “ <i>outliers</i> ”	102
4.32 – Variação diária da visibilidade e do total de focos de calor de Cuiabá em julho e agosto de 1993, 18h TMG.....	103
4.33 – Visibilidade e total diário de focos em Cuiabá, julho e agosto de 1993, 18h TMG,incluindo todos os dados.....	104
4.34 – Curva resultante da visibilidade e total diário de focos de Cuiabá, 18h TMG em julho e agosto de 1993, sem os “ <i>outliers</i> ”	105

LISTA DE TABELAS

4.1 – Coeficiente de determinação de Alta Floresta para os dados de visibilidade e profundidade óptica.....	75
4.2 – Coeficientes de correlação e teste de significância entre visibilidade e profundidade óptica de Alta Floresta.....	78
4.3 – Coeficiente de determinação de Cuiabá para os dados de visibilidade e profundidade óptica.....	84
4.4 – Coeficientes de correlação e teste de significância entre visibilidade e profundidade óptica de Cuiabá.....	88
4.5 – Coeficiente de determinação de Alta Floresta para os dados de visibilidade e visibilidade e concentração de particulado fino.....	91
4.6 – Coeficientes de correlação e teste de significância entre visibilidade e concentração de particulado fino de Alta Floresta.....	93
4.7 – Coeficiente de determinação de Cuiabá para os dados de visibilidade e concentração de particulado fino.....	96
4.8 – Coeficiente de correlação e teste de significância entre visibilidade e concentração de particulado fino de Cuiabá.....	98
5.1 – Coeficiente de determinação e equações para dados de visibilidade e profundidade óptica.....	107
5.2 – Coeficientes de correlação para dados de visibilidade e profundidade óptica.....	108
5.3 – Coeficiente de determinação e equações para dados de visibilidade e concentração de particulado fino.....	109
5.4 – Coeficientes de correlação para os dados de visibilidade e conc. de particulado fino.....	110

LISTA DE SÍMBOLOS

Latinos

- b_a - Coeficiente de absorção da radiação eletromagnética
 b_{ex} - Coeficiente de extinção da radiação eletromagnética
 b_s - Coeficiente de espalhamento da radiação eletromagnética
 C - Contraste entre a vizinhança e o objeto alvo
 C^* - Limite de contraste entre o alvo e a vizinhança
 C_o - Limite de contraste
 D - Diâmetro da partícula
 $dI_{o\lambda}$ - Atenuação sofrida pela radiação incidente
 ds - Extensão da camada atmosférica
 $I_{o\lambda}$ - Radiância incidente na camada atmosférica
 I_λ - Radiância final
 I_1 - Intensidade luminosa da vizinhança
 I_2 - Intensidade luminosa do objeto alvo
 K - Concentração de massa de particulado
 m_r - Massa óptica
 n - Índice de refração da partícula
 r - Raio da partícula
 T_λ - Transmitância atmosférica monocromática
 V_m - Visibilidade padrão
 V_p - Visibilidade predominante

Gregos

- α - Expoente de Angström
 β - Coeficiente de Angström
 θ_z - Ângulo zenital
 ρ - Densidade atmosférica
 $\sigma_{ex,\lambda}$ - Coeficiente de extinção monocromático
 τ - Espessura óptica ou profundidade óptica

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AOT – “Aerosol Optical Thickness”

AVHRR – “Advanced Very High Resolution Radiometer”

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

DEPV – Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Vôo

DMET – Divisão de Meteorologia

EEAR – Escola de Especialistas de Aeronáutica

EMS – Estação Meteorológica de Superfície

EUA – Estados Unidos da América

GEPA – Grupo de Estudos de Poluição Ar

IAE – Instituto de Aeronáutica e Espaço

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

IFUSP – Instituto de Física da Universidade de São Paulo

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IVDN – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

LABSOLAR – Laboratório de Energia Solar (UFSC)

MCL – Seção de Climatologia

MODTRAN – “Moderate Atmospheric Radiance and Transmittance”

MT – Mato Grosso

NASA – “National Aeronautics and Space Administration”

NOAA – “National Oceanic and Atmospheric Administration”

OACI – Organização de Aviação Civil Internacional

OMM – Organização Meteorológica Mundial

TMG – Tempo Médio de Greenwich

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO E OBJETIVO

1.1 - Introdução

A atmosfera terrestre provoca atenuação da radiação eletromagnética que a atravessa na faixa do espectro óptico, e esta radiação interage com a atmosfera de três modos, pois a energia pode ser refletida, absorvida e espalhada. O Sensoriamento Remoto, de maneira geral, é a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto com estes, utilizando-se de sensores (Reeves, 1975; Novo, 1989).

A atmosfera é constituída, aproximadamente, em volume por 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio, 1% de argônio, e um conjunto de outros gases, vapor d'água e partículas em suspensão (aerossóis). Sua maior parte em massa (99%) está contida em uma camada de 30 km de altura sobre a superfície terrestre (Iqbal, 1983). O interesse pela composição atmosférica e pelos efeitos da ação do homem sobre ela tem aumentado entre indivíduos, sociedades e governantes, em função das mudanças globais e problemas ambientais em geral. As partículas e suas propriedades, como tempo de residência e reatividade química, despertam grande atenção, tendo em vista que os particulados são mais notados que os gases poluentes invisíveis (Twomey, 1977).

Os dados obtidos por sensores remotos muitas vezes são apenas parciais, se considerados os efeitos atmosféricos. O uso de imagens de satélite da superfície da terra para determinação de quantidades, tais como Função de Distribuição de Reflectância Bidirecional (FDBF), albedo, índices de vegetação, etc. requer que os sinais medidos pelos sensores sejam corrigidos para efeitos atmosféricos e convertidos em valores que representem a reflectância da superfície (Kaufman, 1996). Devido, principalmente, ao fenômeno do espalhamento da radiação eletromagnética em comprimentos de onda na faixa espectral visível, os aerossóis interferem na aquisição de dados em sensoriamento remoto. O objetivo das técnicas de correção atmosférica é compensar o efeito desta interferência sobre os valores de níveis de radiância obtidos em uma cena (Freire, 1996; Kaufman et al., 1996). Modelos de correção atmosférica e de transferência radiativa necessitam de dados auxiliares como conhecimentos sobre o perfil vertical de vapor

d'água, de aerossóis, e da composição molecular da atmosfera, os quais em geral não existem, ou são difíceis de serem coletados (Chen et al., 1995).

Tanré et al. (1992) apresentaram uma investigação dos efeitos dos constituintes atmosféricos sobre dados obtidos pelo sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* – AVHRR dos satélites *National Oceanic and Atmospheric Administration* - NOAA, na faixa espectral do visível e do infravermelho próximo. Expressaram a magnitude dos efeitos atmosféricos sobre as referidas bandas do AVHRR, com impactos sobre o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN) e sobre a reflectância da superfície terrestre. Assim, mostraram, para o canal 1 (580 nm – 680 nm) do referido sensor, que episódios de névoa densa, poeira, ou fumaça podem encobrir completamente as propriedades radiométricas da superfície observada. Além disso, verificaram que os efeitos dos aerossóis variam em função da localização e do tempo, sendo que suas correções são importantes para a derivação do IVDN de áreas densamente vegetadas, pois tais efeitos podem alterar o valor do referido índice em até 10% (Tanré et al., 1992).

O Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), juntamente, com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), publicaram em 1998 um Atlas de irradiação solar do Brasil (INMET e LABSOLAR, 1998). Este foi elaborado com dados computados com algoritmo do modelo físico BRAZILSR, que é uma vertente do modelo físico IGMK do Instituto de Geofísica e Meteorologia de Colônia, na Alemanha. O BRAZILSR utilizou imagens do satélite geoestacionário GOES – 8, na faixa espectral no visível, para estimar a irradiância solar à superfície. Neste caso, para obtenção dos valores de transmitância atmosférica devida aos aerossóis, utilizou-se, para parametrização dos perfis de particulados, dados de visibilidade horizontal à superfície para estimativa do coeficiente de turbidez de Ångström, pois tal aproximação produz bons resultados para aplicação do referido modelo na maioria das situações práticas (INMET e LABSOLAR, 1998). Gambi et. al. (1998) avaliaram estatisticamente os desvios sistemáticos encontrados entre as estimativas da irradiação solar à superfície, feitas com a aplicação do modelo IGMK, que utilizou imagens do satélite europeu METEOSAT, e dados obtidos com radiômetros de superfície para o Brasil entre 1985 e 1986. Segundo os autores, o desvio sistemático médio global encontrado foi relativamente alto, $1,2\text{MJ.m}^{-2}$, e ocorreu devido à posição

inadequada do referido satélite. Entretanto, os desvios sistemáticos para algumas estações não puderam ser explicados simplesmente da mesma maneira. Assim, verificando outras causas para os referidos desvios, observaram que a utilização das médias mensais da distribuição de aerossóis para parametrização da composição atmosférica implicou, possivelmente, na alteração dos resultados obtidos nos cálculos das equações semi-empíricas utilizadas. Desta forma, as variações deste parâmetro, ocorridas durante cada mês, haviam sido desprezadas. Tal fato contribuiu para o aumento do desvio sistemático mencionado. Além disso, mostraram, por meio de testes estatísticos de hipóteses com nível de confiança igual a 99 %, que a altitude e o tamanho das cidades contribuem, também, para tais desvios (Gambi et al., 1998).

Estudos com modelos de clima têm mostrado que os particulados precisam ser considerados em simulações eficientes. O clima é entendido como o resultado combinado de eventos meteorológicos em uma certa área para um intervalo de tempo que seja sazonal, no mínimo. O clima pode ser descrito por valores médios e variâncias de parâmetros meteorológicos durante esse período. Neste contexto, os aerossóis afetam diretamente o tempo por suas interações com o campo de radiação óptica do planeta e indiretamente devido a seus efeitos sobre a microfísica das nuvens, o albedo e a precipitação. O efeito dos aerossóis sobre as nuvens é causado por partículas de tamanho submicron que agem como núcleos de condensação e partículas grandes de poeira que são eficientes núcleos de formação de gelo (Gerber e Hindman, 1980; Kaufman, 1994).

A visibilidade horizontal, no contexto das observações meteorológicas, é estimada com referência a pontos cujas distâncias ao local de observação são conhecidas com auxílio de uma carta de visibilidade. Tal parâmetro meteorológico é utilizado em observações feitas em Estações Meteorológicas de Superfície (EMS), localizadas em aeroportos, e registrado, para fins de divulgação, através do menor valor distinguido para todo o horizonte. Neste caso, o objetivo é atender procedimentos de pouso e decolagem de aeronaves garantindo a segurança (DEPV, 1998).

O Laboratório de Pesquisas Navais da Divisão de Meteorologia da Marinha Norte-americana, localizado em Monterey nos Estados Unidos da América – EUA, vem desenvolvendo um trabalho cujo objetivo é monitorar a presença de aerossóis atmosféricos (fumaça, poeira e névoa) provocados, muitas vezes, por situações críticas

como as de queimadas, ocorridas sazonalmente na América do Sul. Entre outros dados, registros meteorológicos sinóticos de superfície são operacionalmente recebidos e decodificados no referido laboratório. Estes contém informações diretas (ex., informações de tempo presente e passado) e indiretas (ex., visibilidade horizontal) sobre aerossóis. Para auxiliar nas análises, um modelo de representação das informações sinóticas (Figura 1.1) é utilizado com dados das estações de observação, e determina áreas onde a visibilidade é reduzida por aerossóis. Como resultado, mapas globais (Figura 1.2) e de diversas regiões do mundo, estimando aerossóis e, conseqüentemente, a redução temporal da visibilidade horizontal à superfície, são gerados diariamente. Para o caso específico da região norte-americana, apresentam-se, também os registros de visibilidade horizontal à superfície, visando à segurança das operações aéreas e de possíveis manobras militares. Neste contexto, os atuais desafios científicos são, entre outros, o desenvolvimento de métodos para determinação de aerossóis por satélite e de técnicas de conversão de registros meteorológicos sinóticos de superfície, tais como os de visibilidade horizontal, em parâmetros de aerossóis (NRL, 2001).

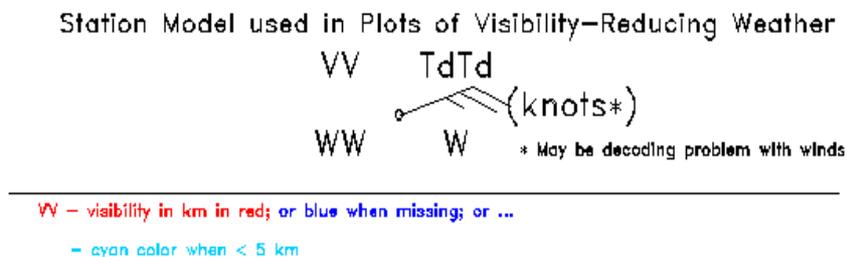


FIGURA. 1.1 – Modelo de representação de registros meteorológicos sinóticos.
 FONTE: NRL (1999).

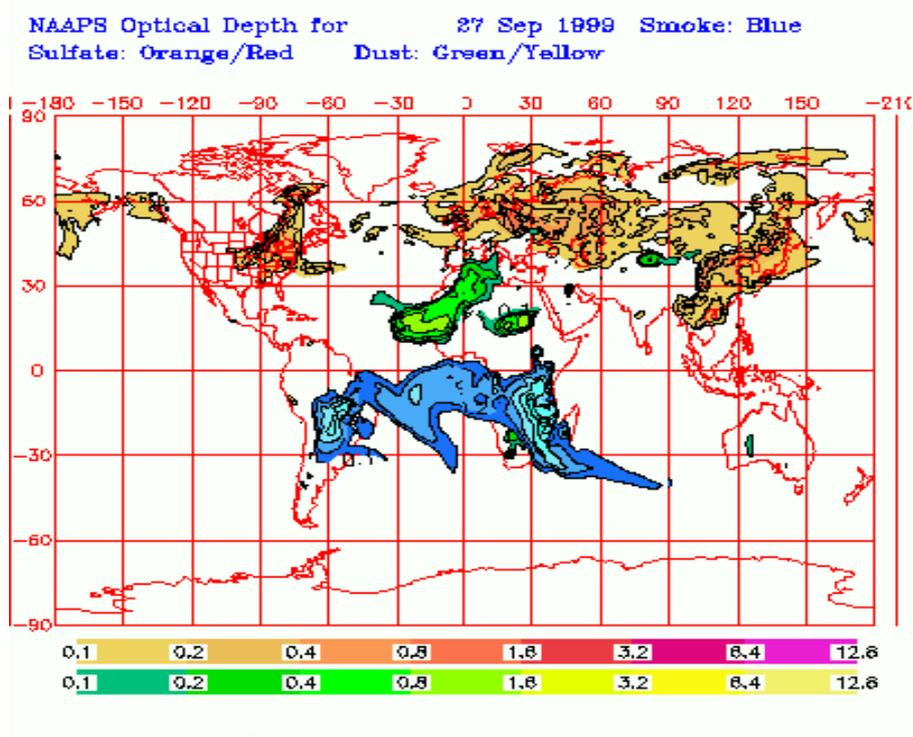


FIGURA 1.2 – Mapa global da estimativa de aerossóis (fumaça, poeira e névoa).
FONTE: NRL (1999).

A redução da visibilidade também tem sido reconhecida como um indicador de poluição do ar (Hidy, 1984), e tem no espalhamento da radiação óptica o seu determinante primário (McCartney, 1976). Horvath e Trier (1993) realizaram um estudo sobre os aerossóis em Santiago no Chile, através de medidas da extinção da luz obtidas por telefotometria. Segundo eles, este método oferece vantagens para estudos de poluição do ar, pois os telefotômetros podem ser construídos com custo razoável, são facilmente transportados e simples de operar. Assim, concluíram que os dados ópticos obtidos possuíam forte correlação estatística ($r = 0,86$) com os valores de visibilidade horizontal registrados em três aeroportos na área de Santiago. Além disso, verificaram que os valores de visibilidade dos aeroportos apresentaram, também, boa correlação ($r = 0,80$) com os de visibilidade teórica, calculados através da fórmula de Koschmieder, que será apresentada mais adiante.

A respiração vegetal e animal, e o fogo são as principais fontes de CO₂ para a atmosfera terrestre. A presença do fogo na história do planeta pode caracterizar-se pela variação da concentração de carbono grafítico em sedimentos ao longo do tempo (Gerab, 1996). O uso do fogo pelo homem primitivo teve início há cerca de 500 mil anos atrás (NEB, 1998), marcando o início da interferência do homem na composição da atmosfera. Entretanto, só nos dois últimos séculos é que as contribuições antropogênicas para a atmosfera foram consideradas significativas, em escala global. Destas, destacam-se as emissões de gases e de aerossóis associadas aos processos industriais e de queima da biomassa em grande escala. Tais emissões vêm adicionar-se às emissões majoritárias, oriundas do uso de combustíveis fósseis, para a produção de energia na manutenção do modo de vida característico do mundo moderno (Gerab, 1996).

No período entre julho e outubro são registrados altos índices de queimadas na região do sul da Amazônia e no Brasil central. Mais de 10000 focos por dia chegam a ser registrados no País no auge desse período, no final de agosto e início de setembro. Emissões de queimadas têm causado concentrações de poluentes muitas vezes superiores às recomendações de padrões ambientais nacionais e estrangeiros. As queimadas provocam prejuízos como fechamento de aeroportos, empobrecimento do solo e efeitos na biodiversidade. Além disso, a queima da biomassa afeta, também, a química da atmosfera (Setzer et al., 1992).

Pereira et al. (1996) reportaram os resultados de diferentes medidas de aerossóis na troposfera, feitas pela equipe brasileira da missão *Transport and Atmospheric Chemistry Near the Equator Atlantic* (TRACE A), cujo objetivo era investigar os impactos da queima da biomassa sobre a carga de aerossóis troposféricos e sua composição sobre os trópicos. Entre outros resultados, obtiveram boas correlações entre focos de fogo, obtidos com o sensor AVHRR a bordo do satélite da série NOAA para um raio de investigação de 50 km, e as concentrações de carbono grafítico ($r = 0,99$), de pequenas partículas ($r = 0,95$) e a massa total de aerossóis ($r = 0,98$); isso confirmou a determinação de aerossóis por satélite devido a emissões de fogo, como uma nova e útil ferramenta.

Giglio et al. (1999) apresentaram uma comparação entre três algoritmos selecionados que têm sido propostos para monitoramento global de atividades de fogo usando os canais 3 e 4 do sensor AVHRR. Os desempenhos dos algoritmos foram caracterizados

em termos da probabilidade de detecção de fogo e de falsos alarmes de focos em função da visibilidade, entre outros fatores. Neste caso, utilizou-se o parâmetro visibilidade, com valores pré-selecionados de 5, 23 e 50 Km, para modelagem da carga de aerossóis, através do modelo atmosférico “*Moderate Atmospheric Radiance and Transmittance*”, MODTRAN. Assim, os resultados obtidos indicaram que os desempenhos dos três algoritmos dependem das mudanças nas cargas de aerossóis implementadas pelo modelo através de cada faixa de visibilidade. Por fim, concluíram que existem implicações gerais no estudo dos algoritmos usados para detecção global de fogo através do AVHRR, entre as quais, a de que o aumento da espessura óptica atmosférica inibe a detecção de pequenos fogos e acentua a detecção de grandes fogos. O Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), em conjunto com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais (IBAMA), têm disponibilizado ao público geral, experimentalmente, diagnósticos de poluição atmosférica à superfície e previsões para 36 e 48 horas, que são resultados da integração do modelo de transporte de gases e de aerossóis acoplado ao modelo regional Eta do CPTEC. Para obtenção das referidas previsões utiliza-se como condição inicial a análise de focos de calor observados. Os produtos finais são mapas contendo valores da concentração de fumaça, Figura 1.3 (INPE, 2001).

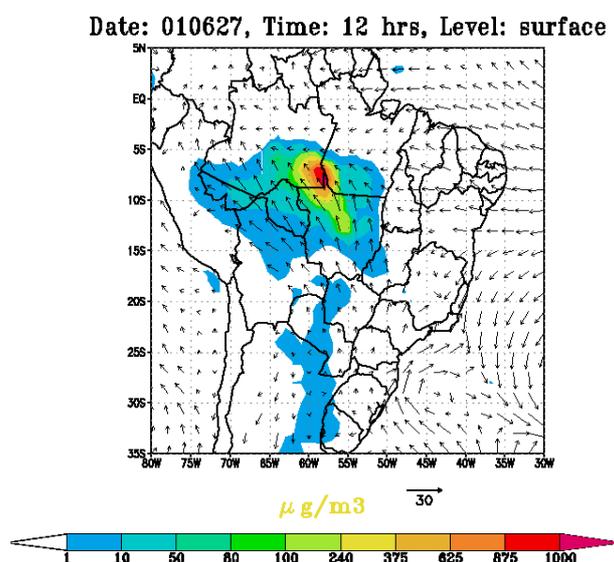


FIGURA 1.3 – Mapa de prognóstico de fumaça.

FONTE: INPE (2001).

A visibilidade horizontal está correlacionada com parâmetros de aerossóis importantes em aplicações de modelagem atmosférica e de estudos climáticos. Assim, o estudo das relações empíricas entre registros horários de visibilidade, obtidos em aeroportos localizados em regiões de queimadas, combinados com dados obtidos por fotômetros, dados sobre a concentração de particulados à superfície e de focos de queimadas obtidos pelo AVHRR, apresenta-se como uma ferramenta alternativa e complementar na avaliação dos efeitos da queima da biomassa, para estudos das propriedades ópticas de aerossóis de queimadas, e na obtenção de parâmetros para aplicação em modelos de correção atmosférica, usados em sensoriamento remoto, e transferência radiativa.

Além disso, deve-se considerar outros fatores incentivadores do estudo das referidas relações empíricas, como: o custo para instalação de uma rede de fotômetros solares e coletores de aerossóis, com área de atuação semelhante ao da rede de observações meteorológicas de superfície atual; a grande dimensão do território brasileiro; a existência de séries históricas de registros de visibilidade, bem como de outros parâmetros meteorológicos; e, principalmente, a ausência, no Brasil, de estudos que contemplem as relações empíricas entre as variáveis citadas.

1.2 – Objeto

O objetivo desta dissertação é estimar relações empíricas entre visibilidade horizontal registrada em aeródromos, e dados de profundidade óptica de aerossóis, de concentração de particulado fino à superfície, e quantidade de queimadas na época de secas no Brasil central, em um período de teste, e em dois locais.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresentam-se algumas breves revisões teóricas de tópicos considerados importantes para a fundamentação desta dissertação. Dessa forma, serão abordados os seguintes assuntos: Aerossóis; absorção e espalhamento atmosféricos; transmitância; turbidez; e visibilidade.

A radiação eletromagnética solar é a principal fonte de energia para a atmosfera terrestre. A luz visível com comprimentos de onda entre 0,4 μm e 0,7 μm , conjuntamente com os raios gama, raios x, radiação ultravioleta, infravermelha, ondas de rádio, sinais de televisão e microondas compreendem o espectro eletromagnético. Este pode ser definido como a representação do fluxo de energia radiante em função de sua distribuição por comprimentos de onda ou frequência (Liou, 1980). Dessa representação, a faixa espectral no visível é aquela cuja atenuação da radiação é causada, mais efetivamente, pela presença de particulados (aerossóis) em suspensão na atmosfera. Esta atenuação, na banda indicada, se dá principalmente devido ao processo de espalhamento da radiação.

2.1 - Aerossóis

Testes preliminares têm mostrado que mudanças na concentração, distribuição e no tipo de aerossóis afetam a temperatura e o gradiente térmico atmosférico. Assim, há pesquisas relacionadas ao clima que tentam determinar o quanto o aquecimento ou resfriamento da terra e de sua atmosfera é devido aos aerossóis (Gerber e Hindmam, 1982).

Na troposfera, os aerossóis estão concentrados próximos à superfície, na camada limite planetária. Seu período de permanência na atmosfera é afetado pelos processos do tempo e é da ordem de uma semana, em regiões onde a atmosfera é frequentemente lavada por precipitação, ou de poucas semanas, em outras partes. Por essa razão, fortes diferenças regionais nas concentrações de aerossóis podem ser esperadas. Os efeitos dos aerossóis troposféricos ocorrem principalmente sobre o fluxo de radiação de ondas curtas (Gerber e Hindmam, 1982).

Como a variabilidade geográfica e temporal da concentração e composição dos aerossóis é muito grande, então, para estudos mais detalhados, utilizam-se modelos padrões de aerossóis, visando a uma melhor representação das condições naturais (Gerber e Hindmam, 1982). Segundo Iqbal (1983), os aerossóis são partículas sólidas ou líquidas que permanecem suspensas no ar e movimentam-se, até certos níveis da atmosfera. Tais partículas podem ser de origem terrestre (decorrentes de fumaça industrial, poeira, erupção vulcânica, fogos em florestas, etc.), oceânica e extraterrestre. Muitas vezes, os aerossóis são classificados, também, como: continentais, marítimos, urbanos, estratosféricos ou vulcânicos.

Os tamanhos das partículas de aerossóis variam consideravelmente, dependendo do mecanismo de produção. Jung, em 1955, definiu as seguintes categorias de aerossóis baseadas em seus tamanhos (Iqbal, 1983; Stephens, 1994): (1) partículas muito pequenas, com raios menores que $0,1 \mu\text{m}$; (2) partículas grandes, com raios entre $0,1 \mu\text{m}$ e $1 \mu\text{m}$; e (3) partículas gigantes, com raios maiores que $1 \mu\text{m}$.

Os métodos de computação dos efeitos dos aerossóis devem ser simplificados sem que se perca a eficiência. O procedimento de obtenção de soluções parametrizadas para transferência radiativa deve ser visto como degradação controlada dos métodos precisos. As propriedades radiativas individuais de qualquer aerosol podem ser computadas através de um conjunto básico de parâmetros que inclui: distribuição de tamanho $N(r)$, onde r é o raio individual da partícula, supostamente esférica; forma da partícula; e índice de refração complexo. Para esses parâmetros básicos, as seguintes quantidades podem ser derivadas pela aplicação da teoria de espalhamento Mie, que será comentada mais adiante: o albedo de espalhamento simples, a função de fase e o coeficiente de espalhamento (Gerber e Hindmam, 1982).

Os coeficientes de espalhamento de aerossóis podem ser determinados pela eficiência do espalhamento $K_s(n, p)$ e pela função de distribuição de tamanho de aerossóis, onde n é o índice de refração da partícula (um número complexo) e $p = \pi D/\lambda$ é um parâmetro de dimensão que relaciona o diâmetro da partícula “D”, supostamente esférica, com o comprimento de onda da radiação incidente “ λ ” (Seinfeld, 1986).

Uma atmosfera carregada de aerossóis, que deflete radiação direta do sol, é chamada de atmosfera turva. De acordo com Iqbal (1983), a presença de aerossóis na atmosfera pode ser quantificada por um dos seguintes parâmetros: (1) número de partículas de poeira por volume; (2) turbidez atmosférica; e (3) visibilidade.

2.1.1 – Perfil Vertical da Concentração de Aerossóis na Atmosfera

A distribuição vertical da concentração de particulados na atmosfera depende das condições de estabilidade e instabilidade atmosférica (Riehl, 1965). Iqbal (1983) mostra a variação da concentração de aerossóis com a altitude geográfica, em condições ideais, e indica que a densidade de partículas diminui exponencialmente com a altitude até, aproximadamente, 5 km e, a partir daí, permanece constante até 10-15 km.

Segundo Hidy (1982) e Horvath e Trier (1993), a concentração de aerossóis é diretamente proporcional à extinção da radiação óptica e, conseqüentemente, à visibilidade horizontal. Riehl (1965) apresentou uma classificação visual da estabilidade atmosférica, que está relacionada com as condições de visibilidade e ao tipo de nuvens presentes. Assim: 1) Estabilidade em toda atmosfera está associada com visibilidade reduzida e ausência de nuvens, presença de nuvens do tipo estratiforme; e 2) Instabilidade atmosférica está relacionada a boa visibilidade, quando não ocorre precipitação, e com a presença de nuvens do tipo cumuliforme.

De acordo com Kunugi et al. (1987), a distribuição vertical de partículas suspensas na atmosfera pode fornecer informações sobre o comportamento e fontes de partículas. Estes autores obtiveram amostras da concentração de particulados para diferentes alturas com auxílio de uma torre meteorológica de 213 m do Instituto de Pesquisas Meteorológicas, Tsukuba, Japão. Dessa forma, mostraram que a variação sazonal da concentração de particulados suspensos próximos à superfície é alta no inverno e baixa nas demais estações, enquanto que para medidas registradas na altura de 175 m a concentração citada permaneceu constante para todas as estações do ano. Tal resultado foi obtido, provavelmente devido à estabilidade do ar próximo da superfície terrestre, durante os períodos considerados (Kunugi et al., 1987).

Pereira et al. (1996) verificaram que os perfis verticais de concentração de carbono grafítico e aerossóis pequenos, em épocas de queimadas no sul da Amazônia e no Brasil central, sobre Marabá e Porto Nacional no Tocantins, apresentaram valores máximos, aproximadamente, para 2200 m acima do nível do mar; e que comportamentos similares foram registrados sobre outras localidades. Além disso, compararam os referidos perfis com os de temperatura do ar para Marabá, no mesmo período, e mostraram que os máximos de concentração de carbono grafítico e partículas pequenas localizaram-se entre pequenas inversões de temperatura ou acima de um leve aumento do gradiente de temperatura. Ainda segundo os autores, tal situação de estabilidade nos baixos níveis é esperada na estação de queimadas quando a circulação troposférica anti-ciclônica prevalece sobre a região mencionada.

2.2 – Espalhamento Atmosférico

O espalhamento atmosférico consiste no processo em que as partículas em suspensão na atmosfera interagem com o fluxo de energia solar radiante, reduzindo sua intensidade e reirradiando-o dentro de um ângulo sólido, centrado na própria partícula; ou seja, provoca uma redistribuição angular da radiação (McCartney, 1976). Basicamente, o espalhamento pode ser dividido em seletivo e não-seletivo. O espalhamento seletivo ocorre quando o raio das partículas espalhadoras é menor ou da mesma ordem de grandeza que o comprimento de onda da radiação incidente sobre elas. Enquanto isso, o não-seletivo ocorre quando os raios das partículas são bem maiores que o comprimento de onda. No segundo caso, normalmente, as partículas têm diâmetros que variam entre 5 μm e 100 μm (Liou, 1980; Lillesand and Kiefer, 1994).

Os parâmetros que caracterizam o regime de espalhamento são: (1) a eficiência de extinção; (2) o albedo de espalhamento simples, que pode ser definido como a fração da energia radiante removida da onda incidente, que reaparece como radiação espalhada; e (3) o fator de assimetria, que pode ser definido como a média, ou o valor estatisticamente esperado, do co-seno do ângulo de espalhamento da radiação espalhada (Towmey, 1977).

No caso da assimetria, a relação entre o tamanho do elemento espalhador e o comprimento de onda da radiação incidente é um dos fatores determinantes do tipo de espalhamento. Tal relação pode ser expressa como

$$X = 2\pi r/\lambda \quad (1)$$

onde x é um parâmetro de tamanho, r é o raio da partícula e λ comprimento de onda da radiação incidente. O regime de espalhamento atmosférico molecular, que tem como base a hipótese de que o elemento dispersor atua simetricamente quando interage com o campo de radiação, é aplicado às partículas muito menores que o comprimento de onda da radiação eletromagnética incidente. Lord Rayleigh demonstrou que uma atmosfera ideal contém apenas espalhadores primários em proporção direta com a segunda potência do volume da partícula e inversa com a da quarta potência do comprimento de onda. Essa atmosfera é conhecida como atmosfera de Rayleigh. O espalhamento molecular, ou espalhamento Rayleigh, diminui com a altitude e é proporcional à densidade do ar. Os principais espalhadores atmosféricos Rayleigh são as moléculas dos gases atmosféricos (Seinfeld, 1986; McCartney, 1976).

Por outro lado, à medida que o tamanho da partícula aumenta em magnitude, ou quando o diâmetro da partícula é da ordem de 1 a 10 vezes o comprimento de onda λ da radiação incidente, como é o caso dos aerossóis, a teoria Rayleigh não é adequada e o regime de espalhamento é chamado “Mie” (Liou, 1980; McCartney, 1976). Esse nome foi dado, pois a solução exata para o problema do espalhamento provocado por uma partícula, considerada esférica e com raio r , sobre a radiação incidente, com comprimento de onda λ , foi dada por Gustav Mie em 1908. Neste caso, o problema era obter soluções tridimensionais para as equações de Maxwell, para os campos elétrico e magnético, dentro e fora dos limites da região esférica da partícula, considerando-se, entre outras, as seguintes variáveis: raio e índice de refração da partícula. Assim, o processo de solução Mie baseou-se em encontrar um conjunto de números complexos (coeficientes Mie) que oferecessem vetores de campo elétrico e magnético que pudessem satisfazer as condições de contorno na suposta superfície esférica da partícula. Tais coeficientes, que são funções do índice de refração ($x = 2\pi r/\lambda$ e $y = mx$), fornecem a solução para o problema do espalhamento (Twomey, 1977).

2.3 – Absorção Atmosférica

A absorção atmosférica é um fenômeno irreversível que resulta na perda efetiva de energia para os constituintes atmosféricos, ou seja, a energia radiante é transformada em

um outro tipo de energia, geralmente calor. A absorção não é muito significativa na região no visível. Alguns dos componentes da atmosfera como vapor d'água (H_2O), dióxido de carbono (CO_2) e ozônio (O_3) são responsáveis por bandas de absorção tão intensas que tornam algumas regiões do espectro inviáveis para o sensoriamento remoto (Steffens, 1996; Liou, 1980). Por outro lado, os constituintes majoritários em número de moléculas por volume na atmosfera (N_2 e O_2) não absorvem nas regiões do visível e do infravermelho solar, porém participam da dispersão molecular, segundo Rayleigh (Liou, 1980).

2.4 – Transmitância Atmosférica

A transmitância atmosférica é um fator essencial para modelos de correção atmosférica e transferência radiativa. Esta consideração, assim como o desenvolvimento a seguir pode ser encontrado em Liou (1980), Iqbal (1983), Stephens (1994), etc. Na parametrização dos componentes de espalhamento e de absorção da atmosfera, utiliza-se a lei de Beer-Bouguer-Lambert, que trata da atenuação sofrida por uma onda plana, com radiância inicial $I_{o\lambda}$, ao atravessar uma camada de densidade ρ e espessura ds , como ilustrado na Figura 2.1.

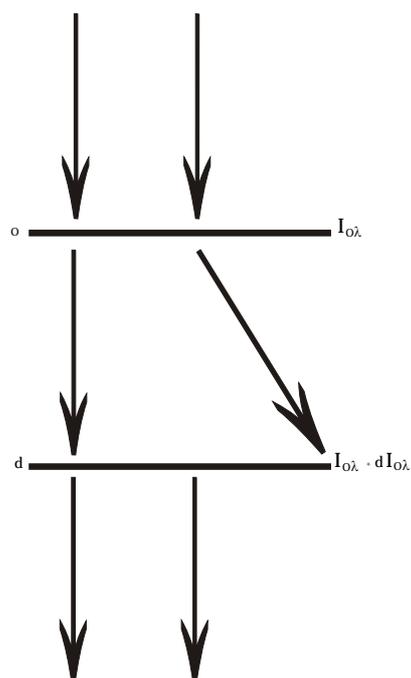


FIGURA 2.1 – Representação da atenuação sofrida pela radiação óptica na atmosfera.

Considerando que a atenuação sofrida pela radiação incidente $dI_{o\lambda}$ é diretamente proporcional a $I_{o\lambda}$, à extensão ds , à densidade ρ , e às propriedades de extinção das substâncias presentes na camada que são descritas pelo fator de proporcionalidade $\sigma_{ext,\lambda}$ (coeficiente de extinção), a forma diferencial da referida lei pode ser apresentada como:

$$d I_{o\lambda} = \sigma_{ext,\lambda} \cdot \rho \cdot I_{o\lambda} \cdot ds \quad (2)$$

Nesta equação, o coeficiente de extinção $\sigma_{ext,\lambda}$ é igual à soma dos coeficientes de espalhamento e absorção. Além disso, deve-se lembrar que a eq. (2) representa apenas a radiação atenuada, ou seja, não inclui as componentes radiativas acrescentadas ao longo da camada por espalhamento múltiplo e por emissão (Liou, 1980).

Integrando a equação (2) para um caminho finito s tem-se que,

$$I_{\lambda} = I_{o\lambda} \cdot \exp[-(\sigma_{ext,\lambda} \cdot \rho \cdot s)] \quad (3)$$

onde I_λ é a radiância final que atravessa a camada, ou seja, a fração da radiação incidente que não é atenuada. A transmitância T_λ pode ser definida, matematicamente, como a razão entre a radiância final I_λ e a inicial $I_{o\lambda}$. Isso significa que,

$$T_\lambda = \exp[- (\sigma_{ext,\lambda} \bullet \rho \bullet s)] \quad (4)$$

O produto $(\rho \bullet s)$ representa a “massa óptica”, enquanto que o produto total $(\sigma_{ext,\lambda} \bullet \rho \bullet s)$ é definido como a “espessura óptica” (τ_λ) da camada. Neste caso, este último está representando uma situação padrão, em que o ângulo de incidência de $I_{o\lambda}$ é perpendicular à superfície plana da camada. No entanto, podem ocorrer variações angulares na radiação incidente, produzindo diferença no valor da massa óptica, como se observa na Figura 2.2.

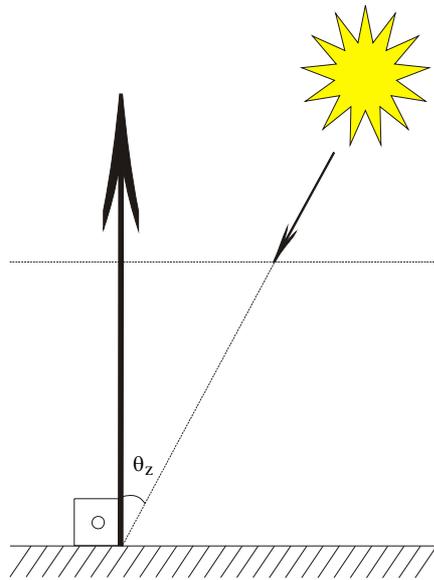


FIGURA 2.2 – Dependência angular dos valores de espessura óptica.

Na relação entre radiação solar e atmosfera terrestre, segundo Iqbal (1983), ignorando a curvatura da Terra e assumindo que a atmosfera é não refratável e completamente homogênea, tem-se que a massa óptica relativa (m_r), que é a razão entre a massa óptica

ao longo da trajetória oblíqua e a massa óptica ao longo da vertical, aplicada para todos os constituintes atmosféricos, pode ser expressa em função de θ_z (Figura 2.2) como,

$$m_r = \sec \theta_z \quad (5)$$

assim, a transmitância atmosférica pode ser representada por:

$$T_{(\lambda)} = \exp(-\tau_{\lambda} \bullet m_r) \quad (6)$$

onde o produto $(-\sigma_{ext,\lambda} \bullet m_r)$ é conhecido, também, como profundidade óptica.

Considerando que a equação (6) deve ser resolvida para cada um dos componentes i da atmosfera (vapor d'água, aerossóis, etc.), ou seja, que o processo de atenuação para cada um é independente, então, a transmitância atmosférica total pode ser expressa como,

$$T_{(\lambda)} = \exp [-\sec \theta_z \bullet \Sigma \tau_i(\lambda)] \quad (7)$$

2.5 – Turbidez Atmosférica

De acordo com Stephens (1994), a profundidade óptica de céu claro, geralmente, apresenta três componentes: uma devido ao espalhamento molecular de Rayleigh; outra relacionada com o espalhamento por aerossóis; e, dependendo do comprimento de onda em questão, uma terceira componente, relacionada à absorção por certos gases traços, tais como ozônio. Neste contexto, a contribuição dos aerossóis costuma ser descrita em termos de uma quantidade referida como turbidez atmosférica. Medidas dessa quantidade têm sido feitas a aproximadamente 70 anos, iniciando-se com Linke em 1922 e Ångström em 1929.

Existem três definições comuns de turbidez (Stephens, 1994; Iqbal, 1983):

- índice de Linke, que relaciona o total de extinção numa atmosfera real com a extinção em uma atmosfera pura de Rayleigh;
- índice de Volz, que utiliza a irradiância solar monocromática para um comprimento de onda igual a 0,5 μm e considera a distância média Terra-Sol;
- e o índice de turbidez de Ångström, que apresenta o coeficiente de turbidez β , relacionado com a profundidade óptica de aerosol de acordo com a equação,

$$\tau_{\theta,\lambda} = \beta \cdot \lambda^{-\alpha} \quad (8)$$

onde λ é o comprimento de onda em μm e α , o expoente de λ , conhecido como expoente de Ångström, relaciona-se com a distribuição de tamanho dos aerossóis. Quando os particulados são pequenos α deve aproximar-se de 4, e quando forem grandes, de zero. Geralmente, α está entre 0,5 e 2,5, um valor igual a 1,3 normalmente é empregado, como foi sugerido por Ångström para a atmosfera em geral.

O parâmetro de turbidez β , sugerido por Ångström, pode ser determinado por uma medida da visibilidade, ou alcance meteorológico. Para valores de visibilidade maiores que 5 km, β pode ser estimado pela equação,

$$\beta = (0,55)^\alpha \cdot [(3,912/\text{vis}) - 0,01162] \cdot [0,02472 \cdot (\text{vis} - 5) + 1,132] \quad (9)$$

onde vis é a visibilidade em quilômetros.

O desenvolvimento da equação (9) e a discussão sobre os parâmetros apresentados neste tópico podem ser encontrados em Iqbal (1983).

2.6 – Visibilidade

O interesse pela visibilidade não é, evidentemente, recente. A primeira publicação sobre seu significado foi a de Koschmeider em 1924, quem encontrou um resultado, em forma de equação linear, que relaciona o alcance meteorológico (definido mais adiante) com o coeficiente de extinção. Posteriormente, Middleton (1952) tratou o assunto detalhadamente publicando “*Vision through the atmosphere*” (McCartney, 1976). A partir do final da década de 60 a teoria básica da visibilidade foi desenvolvida na Alemanha; no ano de 1992, foi realizada, em Viena, a conferência sobre visibilidade e partículas finas, onde tópicos como óptica atmosférica e transferência de imagens, tendência em visibilidade e respostas da visibilidade para emissões variadas, foram expostos e discutidos (Horvath, 1994); mais recentemente, no ano de 1999, realizou-se a 18ª conferência anual da “*American Association for Aerosol Research*” (AAAR), na qual foram apresentados vários trabalhos relacionando visibilidade e propriedades dos aerossóis (AAAR, 1999).

Os fatores que determinam como se pode ver através da atmosfera incluem suas propriedades ópticas, a quantidade e distribuição da luz, as características do objeto

observado e as propriedades da visão humana (Seinfeld, 1986). Destes, dois se destacam no estudo da visibilidade: em primeiro, as propriedades ópticas da atmosfera como um meio semitransparente; e em segundo, o sistema psicofísico (olho – cérebro) do ser humano. Assim, para trilhar o caminho lógico da teoria da visibilidade, estuda-se o primeiro fator, a óptica da atmosfera, enquanto o sistema olho–cérebro é considerado como um detector passivo de energia luminosa. Entre o referido detector e o objeto observado existem materiais em suspensão na atmosfera (diversos gases, gotículas de água e aerossóis) que afetam a transmissão da luz, e, conseqüentemente, a visibilidade (Hidy, 1984).

Uma base física para a conexão da visibilidade com mudanças ópticas no ar é o fato de que o ser humano distingue objetos pelo seu contraste com a vizinhança, ou seja, pela diferença na cor e no brilho em relação à sua vizinhança.. O contraste entre um objeto teste e sua vizinhança (que pode ser o céu no horizonte adjacente), é definido pela expressão (Friedlander, 1977; McCartney, 1976; Hidy, 1984; e Seinfeld, 1986):

$$C = (I_2 - I_1) / I_1 \quad (10)$$

onde I_1 é a intensidade luminosa da vizinhança e I_2 é a intensidade luminosa do objeto teste. Para uma distância x entre o objeto e o observador, I_1 pode ser afetada pelos fenômenos de absorção e espalhamento da radiação eletromagnética. Dessa forma, uma variação da referida distância (dx) relaciona-se com a quantidade de materiais em suspensão na atmosfera e as reduções fracionais em I_1 e I_2 , e podem ser escritas como:

$$dI_1 = - (b_{ex}) I_1 dx \quad (11)$$

$$dI_2 = - (b_{ex}) I_2 dx \quad (12)$$

onde b_{ex} é chamado coeficiente de extinção da luz, que representa a soma dos coeficientes de espalhamento b_s e de absorção b_a (Seinfeld, 1986). Friedlander (1977) mostra que integrando (11) e (12), e substituindo os resultados das integrações em (10), obtém-se,

$$C = C_0 \exp - [(b_{ex}) x] \quad (13)$$

onde C_0 é o contraste inicial, ou seja, o contraste desprezando-se os efeitos atmosféricos. Dessa forma, considerando-se o objeto perfeitamente negro, então $C_0 = -1$ e a expressão (13) pode ser escrita como,

$$C = - \exp - [(b_{ex}) x] \quad (14)$$

Da atenuação e do limite de contraste derivam os conceitos de alcance visual e alcance meteorológico. A teoria de transmissão da luz está ligada à observação humana em termos do alcance visual, que é definido como a distância para a qual um observador pode distinguir o contraste entre um objeto e sua vizinhança. O alcance meteorológico, ou visibilidade padrão, que é uma medida ideal, não apresenta fatores subjetivos e aspectos opcionais do alvo envolvido no alcance visual. O alcance meteorológico é obtido considerando-se o objeto teste como negro e o limite de contraste pré definido (Hidy, 1984; McCartney, 1976). Medidas do limite de contraste foram feitas por Blackwell em 1946, para indivíduos e grupos representativos de pessoas, o que resultou em um valor de $C^* = 0,02$, para 50% de probabilidade de detecção (Blackwell, 1946). Para os propósitos da OMM recomenda-se $C^* = 0,05$.

O estudo da visibilidade horizontal foi construído sobre a teoria de transferência de imagem na atmosfera. Seu resultado clássico é a fórmula de Koschmeider, a qual relaciona o alcance meteorológico ou visibilidade padrão " V_m " com o coeficiente de extinção " b_{ex} " do ar (Katsev e Zege, 1994), como segue:

$$V_m = 3,912 / b_{ex} \quad (15)$$

A equação de Koschmeider está baseada em certas suposições sobre as condições atmosféricas e a percepção humana. As suposições fundamentais são:

- 1) – O caminho de observação é homogêneo e uniformemente iluminado;
- 2) – O objeto é grande o bastante e não ocorre distúrbio no campo luminoso;
- 3) – Condições de ponto máximo de irradiância para olho humano, e o limite de contraste como sendo $C^* = 0,02$;
- 4) – A distância é tomada na horizontal e a curvatura da terra ignorada.

Um sumário dessa derivação pode ser encontrado em Middleton (1952). A seguir apresenta-se a curva teórica resultante derivada da equação de Koschmeider (15), para o comprimento de onda da radiação óptica de 550 nm, Figura 2.3.

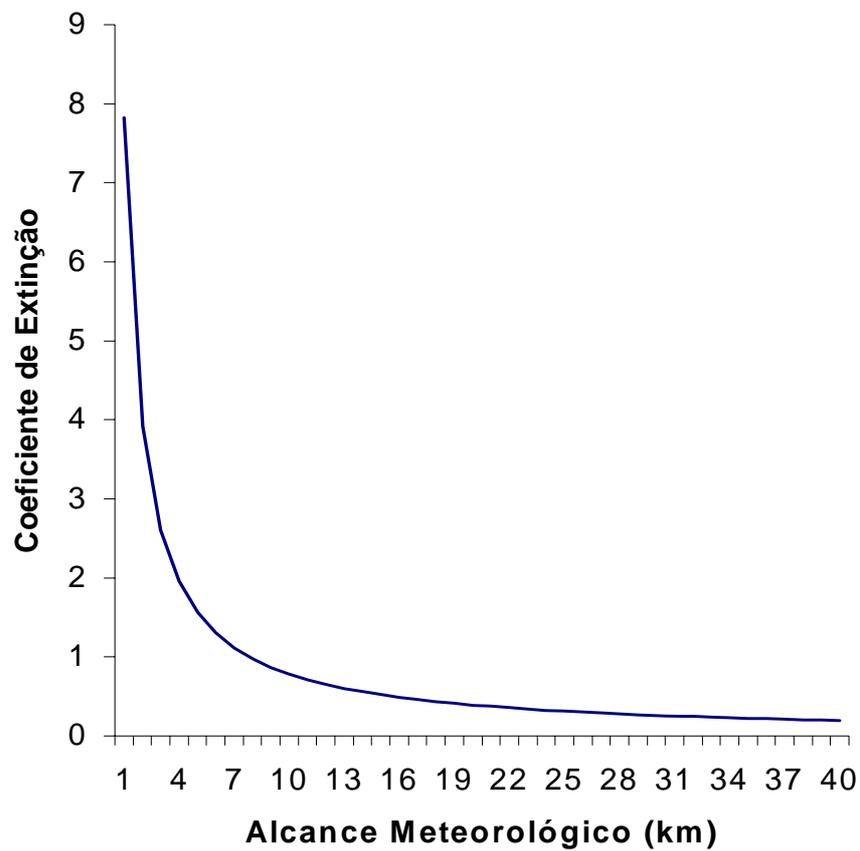


FIGURA 2.3 – Curva teórica da visibilidade em relação ao coeficiente de extinção da luz para comprimento de onda $\lambda = 550\text{nm}$, segundo a equação (15).

Observa-se que o alcance meteorológico é inversamente proporcional ao coeficiente de extinção (Hidy, 1984). Um experimento conduzido por Horvath e Noll (1969) em Seattle - EUA forneceu fortes evidências de que existe uma relação simples entre a visibilidade predominante e o coeficiente de espalhamento do ar, obtido com um nefelômetro. Neste caso, a visibilidade predominante foi definida como a menor alcançada em torno do círculo do horizonte, mas não necessariamente em setores contíguos. Além disso, no mesmo experimento, utilizando registros de observações de visibilidade feitos no aeroporto internacional de Seattle localizado, aproximadamente, a 20 km da região das observações anteriores e dos registros feitos com o nefelômetro, demonstrou-se que não existia diferença estatística entre as visibilidades nas duas áreas.

A transferência e transformação da radiação solar na atmosfera são dependentes de seu conteúdo de aerossóis, pois na região do visível, os aerossóis apresentam-se como componentes opticamente ativos na atmosfera, ver item 2.1 (Kocifaj, 1994). A relação de Koschmeider não indica com clareza como a visibilidade predominante se relaciona com a quantidade de aerossóis no ar. Porém, estudos têm mostrado a existência de uma dependência inversa entre a visibilidade predominante V_p e a concentração de massa de aerossóis (Hidy, 1984),

$$V_p = K/m \quad (16)$$

onde K é uma constante obtida empiricamente que possui um valor médio igual a $1800 \text{ km} \cdot \mu\text{g}/\text{m}^3$ (variando entre $900 \text{ km} \cdot \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $3600 \text{ km} \cdot \mu\text{g}/\text{m}^3$) e m é a concentração da massa de partículas. A relação acima não é conveniente para partículas com diâmetro aproximadamente maior que $10 \mu\text{m}$ (Hidy, 1984).

2.6.1 – VISIBILIDADE E OUTRAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

De acordo com Allard e Tombach (1981) alguns fatores condicionam a medida da visibilidade como: nuvens claras ou escuras posicionadas atrás do alvo; o efeito de sombra provocado pela nebulosidade sobre o alvo; o brilho da névoa ao longo do caminho de visada entre o observador e o alvo; e a cobertura do alvo por neve.

Fenn et al. (1981) mostraram que a dependência das propriedades dos aerossóis em relação à temperatura, umidade, estrutura vertical da atmosfera e histórico de massas de

ar, pode ser demonstrada através de estudos que utilizem medidas de superfície e aéreas de tais parâmetros.

Nilsson (1994) estudou a correlação entre parâmetros meteorológicos e medidas de extinção por aerossóis para um conjunto de 13 comprimentos de onda entre 0,55 μm e 12,5 μm , utilizando análises de regressão. Tais parâmetros incluíam os efeitos provocados pela umidade relativa, velocidade do vento e temperatura do ar; além do período do dia e do ano.

Dessa forma, a visibilidade apresenta-se como uma função geral complexa de inúmeras variáveis.

2.6.1.1 – Visibilidade e Umidade Relativa

Medidas simultâneas de temperatura do ar, de temperatura do ponto de orvalho, que permite estimar o conteúdo de vapor d'água absoluto na atmosfera, e da visibilidade indicam que existe correlação, durante certos períodos, entre essas quantidades (Fenn et al., 1981). De acordo com Horvath e Trier (1993), em áreas com alta umidade registrada grande quantidade de névoas, pela manhã e ao entardecer. Contudo, os efeitos da umidade podem ser desprezados para valores de umidade relativa menores que 60%. Assim, investigações ópticas em baixas umidades fornecem informações sobre particulados suspensos na atmosfera.

Segundo Nilsson (1994), as mais pronunciadas variações do coeficiente de extinção por aerossóis devido a influências meteorológicas são causadas por mudanças na umidade relativa.

A umidade relativa é definida como a relação entre a razão de mistura do vapor d'água observada e aquela que prevaleceria em condições saturadas, à mesma temperatura (Vianello e Alves, 1991).

A visibilidade está diretamente relacionada com as variações na umidade relativa através das mudanças físicas ocorridas nos aerossóis, pois se a umidade relativa aumenta acima de 70%, mais e mais aerossóis começam a absorver moléculas de água, resultando em mudanças na distribuição de tamanho e no índice de refração dos particulados. Dessa

forma, ocorre aumento da extinção da radiação com o aumento da umidade relativa (Fenn et al., 1981).

Um estudo feito por Shettle e Fenn (1979), utilizando modelos de aerossóis urbanos e marítimos, concluiu que o efeito da mudança na umidade relativa sobre a extinção por aerossóis e, assim, da visibilidade, é significativa para valores de umidade relativa acima de 80-90% e isso depende fortemente das propriedades higroscópicas dos aerossóis.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste Capítulo apresenta-se: área de trabalho; informações referentes às variáveis estudadas, como origem dos dados e processos de aquisição; equipamentos usados para o estudo; ferramentas estatísticas empregadas; e os métodos utilizados para cada relação empírica entre visibilidade e as demais variáveis (profundidade óptica, concentração de particulados finos e focos de queimadas).

3.1 – Materiais

3.1.1 – Área de Estudo

A escolha da área de estudo foi feita tomando-se como base dois aspectos: (1) resultados de pesquisas que revelam altos níveis de emissão de aerossóis no período entre julho e outubro na região do Brasil central e sul da Amazônia devido a queimadas (Setzer et al., 1992); e (2) a disponibilidade de registros horários de visibilidade horizontal, realizados em EMS's localizadas em aeródromos, de medidas com fotômetros solares (proporcionando valores de espessura óptica de aerossóis), de amostragens de particulado fino, e de registros de focos de calor obtidos em imagens dos satélites meteorológicos da série NOAA, feitos durante períodos coincidentes na mesma região. Escolheu-se, para estudo, as cidades de Cuiabá e Alta Floresta, no Estado do Mato Grosso, cujos aeródromos são localizados, respectivamente: pelas coordenadas geográficas 15°38'S /56°07'W e 09°51'S/56°06'W; e pelos indicativos SBAT e SBCY, que são estabelecidos pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) (Figura 4.1).

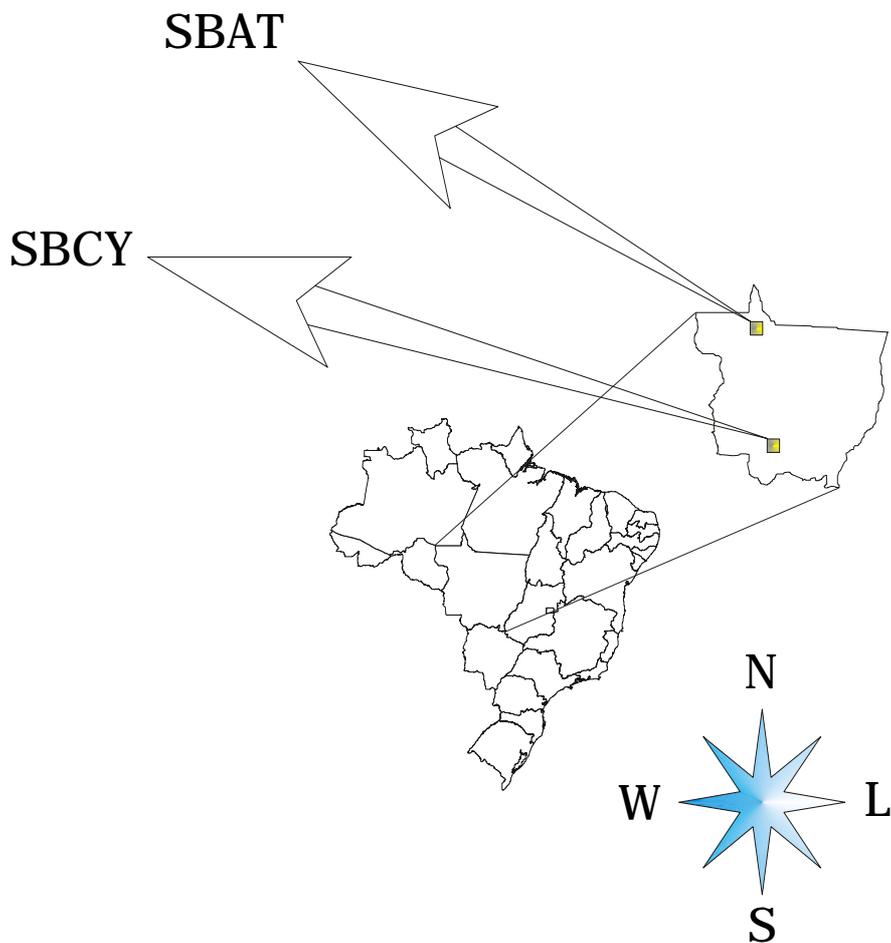


FIGURA 3.1 – Mapa do Brasil mostrando as localizações das cidades de Cuiabá (SBCY) e Alta Floresta (SBAT) com seus respectivos indicativos da OACI.

3.1.2 – Registros de Visibilidade

Uma Estação Meteorológica de Superfície (EMS) é o local onde o observador faz a avaliação e o registro momentâneo de um ou mais elementos meteorológicos. A EMS pode ser de dois tipos: fixa ou móvel. Sua identificação física é feita por meio de sua posição geográfica e altitude acima do nível do mar. Neste caso, tratando-se de uma EMS de aeronáutica, define-se a altitude da estação como sendo a altitude máxima das pistas do aeródromo onde está localizada (EEAr, 1996).

Uma observação meteorológica à superfície consiste na medição, determinação visual ou instrumental, de todos os parâmetros que, em conjunto, representam as condições

meteorológicas, num determinado local. Entre as finalidades de uma observação à superfície, na Aeronáutica, destaca-se o fornecimento de informações meteorológicas imediatas aos meteorologistas dos centros de previsão e obtenção de dados para fins estatísticos e climatológicos. Uma observação é composta por vários elementos, como: tipo e quantidade de nuvens; condições de tempo presente; temperatura do bulbo seco; umidade relativa; velocidade e direção do vento; e visibilidade horizontal (EEAr, 1996).

A visibilidade horizontal, que indica o grau de transparência da atmosfera, é definida, para fins aeronáuticos, como a maior distância na qual um objeto de dimensões convenientes pode ser visto e reconhecido contra o horizonte. Deve-se usar, para este caso, o critério de identificação do objeto e não somente sua visão (EEAr, 1996). Para auxiliar na observação da visibilidade horizontal, cada EMS de aeronáutica dispõe de uma carta de visibilidade (Apêndice A), cujos pontos de referência são identificados pelos seus próprios nomes, tendo embaixo, a indicação da altura e da distância do objeto em relação à EMS. Na Aeronáutica, a unidade de medida da visibilidade é o metro. Porém, para fins de observação, utilizam-se incrementos de 100 em 100 metros até 5000 metros, inclusive, e de 1000 em 1000 metros para valores acima. Além disso, o máximo valor de visibilidade registrado, de interesse operacional, é 20 quilômetros (EEAr, 1996; DEPV, 1998).

Os parâmetros meteorológicos obtidos em uma EMS de aeronáutica, além de serem codificados para fins de transmissão, são registrados em formulários próprios seguindo orientações da Divisão de Meteorologia (DMET) da Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Vôo (DEPV), no Rio de Janeiro, RJ, pertencentes ao Comando da Aeronáutica, com objetivo de arquivamento, para utilização das informações em estudos futuros, e de garantir a qualidade das observações. No formulário o preenchimento do campo, referente à visibilidade, é feito com valores dados em decâmetros.

3.1.2.1 – Arquivo de Dados Meteorológicos das Estações de Superfície para Fins Aeronáuticos

A Divisão de Ciências Atmosféricas (ACA), do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) em São José dos Campos, SP, também do Comando da Aeronáutica, possui uma Seção de Climatologia (MCL) que é responsável pelo arquivo especializado de todos os

documentos meteorológicos (formulários climatológicos, pluviogramas, cartas meteorológicas, entre outros) das estações localizadas em aeródromos nacionais. O processo de gerenciamento dos referidos dados segue as seguintes etapas: recebimento dos formulários originais; microfilmagem e/ou digitalização de documentos; digitação de dados; controle de qualidade; e publicação de sumários climatológicos.

Na fase do controle de qualidade dos dados utilizam-se normas adotadas pela OMM (Filippov, 1968) e pela OACI (OACI, 1995). Além do gerenciamento de dados e da manutenção do arquivo histórico de registros, grande esforço tem sido feito pela MCL, no desenvolvimento e implantação de um banco de dados meteorológicos, cujo objetivo, entre outros, é permitir o acesso rápido (local e remoto) aos dados meteorológicos baseados na ACA.

Para este trabalho, foram utilizados registros de visibilidade, retirados diretamente dos formulários meteorológicos dos aeródromos de Cuiabá e Alta Floresta, no período de 1993 a 1994. Além disso, utilizaram-se dados da cobertura de nuvens com total em oitavos do inteiro e umidade relativa, em percentagem, das mesmas estações, do mesmo período.

3.1.3 – Dados de Espessura Óptica de Aerossóis

Uma rede de monitoramento de aerossóis Aeronet operada pela “*National Aeronautics and Space Administration*” (NASA) e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), na região da Amazônia e do Brasil central, fornece valores medidos de “*Aerosol Optical Thickness*” (AOT), ou espessura óptica de aerossol. São sete locais no Brasil (Alta Floresta, Cuiabá, Jamarí, Porto Nacional, Brasília, Santarém e Tucuruí) com amostragem contínua, a cada 15 minutos, fornecendo valores de espessura óptica de aerossóis referentes aos comprimentos de onda da radiação solar de 339, 380, 441, 672 e 1020 nm. Além disso, a rede de fotômetros informa a estimativa da concentração de vapor d’água presente na atmosfera sobre os fotômetros. Os dados coletados pela referida rede são disponibilizados pela rede mundial de informações internet, para acesso em tempo real, (Artaxo, 1994; Gerab, 1996; Holben et al., 1998). Tais instrumentos determinam a espessura óptica de aerossóis da radiação referente a toda coluna atmosférica, pois a medida é realizada observando-se o espectro solar que atinge

a superfície terrestre (Horvath e Trier, 1993). Desta forma, os valores de AOT disponíveis, após serem convertidos em valores de profundidade óptica, relacionam-se com a presença de material particulado na atmosfera distribuído ao longo de toda a coluna de ar existente sobre o fotômetro solar. Além disso, os dados obtidos com os fotômetros são coletados, apenas, no período diurno e processados para que os registros feitos na presença de nuvens sejam extraídos (Gerab, 1996).

Para este trabalho foram utilizados os dados de AOT, transformados em valores de profundidade óptica, referentes aos comprimentos de onda 441 nm e 672 nm, no período de queimadas em Cuiabá e Alta Floresta, dos anos de 1993 e 1994. Além disso, tais dados estavam no nível 1 de tratamento para eliminação dos efeitos de nuvens. Neste caso, os efeitos das nuvens foram eliminados pelo grau de diferença de valores de AOT em intervalos sequenciais e pelo desvio padrão.

3.1.4 – Dados de Concentrações de Aerossóis

Segundo Artaxo et al. (1994) e Gerab (1996), no início da década de 90 foram instaladas três estações de monitoramento atmosférico na Amazônia. Uma localiza-se em Alta Floresta, MT, outra na Serra do Navio, AM, que são regiões dominadas pela floresta tropical úmida. A terceira estação localiza-se na cidade de Cuiabá, MT, região onde predomina a vegetação de cerrado. Tais estações operam continuamente desde sua instalação, coletando amostras dos aerossóis atmosféricos característicos das estações úmida e seca, esta última conhecida como estação de queimadas na Amazônia e no Brasil central. A Figura 3.2 mostra as localizações das estações de monitoramento atmosférico, juntamente com as dos fotômetros solares da rede Aeronet.

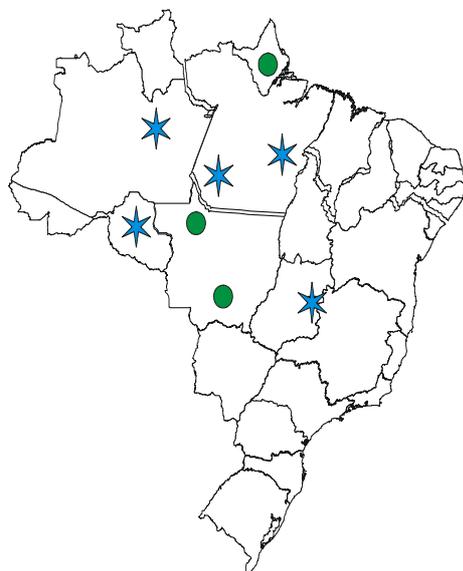


FIGURA 3.2 – Mapa do Brasil com a localização das estações amostradoras de aerossóis atmosféricos de Alta Floresta, Serra do Navio e Cuiabá (círculos verdes) e dos fotômetros solares (estrelas azuis).

FONTE: adaptada de Gerab (1996).

Cada estação amostradora era composta por um orifício de admissão e o AFG propriamente dito, acoplados a um vaso de compensação, uma bomba de vácuo e a integradores de volume (Gerab, 1996).

Para este estudo, utilizaram-se as amostragens das estações de Alta Floresta e Cuiabá, no período entre os anos de 1993 e 1994, de concentração de particulado fino. Tais dados foram analisados pelo Grupo de Estudos de Poluição do Ar (GEPA) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP), que realiza medidas e análises de amostras de particulados desde a década de 70.

A escolha da utilização das concentrações de particulado fino foi baseada nos resultados alcançados por Gerab em 1996, para Alta Floresta, quem mostrou, por análises estatísticas, que as referidas concentrações estavam nitidamente relacionadas (“*Component Loading*” de 0,97) com as componentes de AOT de aerossóis, obtidos através de fotômetros solares da rede Aeronet. Além disso, observou que a diminuição mais gradual da concentração de particulado grosso está mais diretamente associada às condições meteorológicas do que à existência de queimadas, ou seja, as emissões de queimadas são mais significativas para fração fina do aerosol.

3.1.5 – Dados de Focos de Queimadas

O Brasil foi pioneiro no uso de satélites na detecção operacional de queimadas. Por meio de imagens termais diárias, na faixa de comprimento de onda de 3,7 μm (banda 3) do sensor AVHRR dos satélites meteorológicos da série NOAA, tem sido possível, desde 1987, a detecção de queimadas em tempo quase-real de 1 de junho a 30 de novembro, época de estiagem no Brasil central e sul da Amazônia (Setzer et al., 1992). Para informações atuais, ver INPE (2001).

Os satélites da série NOAA estão colocados em órbita quase-circular, heliossíncrona, quase-polar a uma altitude nominal de 833 km e transportam o radiômetro imageador AVHRR. Tal sensor possui campo de visada instantâneo médio de aproximadamente 1,41 mrad e, dessa forma, de sua órbita defini um elemento de resolução na terra de 1,1km, no nadir, e de aproximadamente 5km nas bordas da área imageada (Pereira e Setzer, 1986).

Atualmente, os sensores AVHRR são transportados pelos satélites NOAA-12, 14, 15 e 16. Os comprimentos de onda centrais das bandas espectrais do AVHRR são: banda 1, 0,65 μm ; banda 2, 0,86 μm ; banda 3, 3,8 μm ; banda 4, 10,8 μm ; banda 5, 11,9 μm .

O sistema de detecção de queimadas em imagens do sensor AVHRR em uso operacional no INPE envolve cinco etapas principais (Setzer e Pereira, 1991b): recepção da imagem; seleção das queimadas na imagem; obtenção das coordenadas geográficas das queimadas à medida que a imagem é analisada; elaboração dos produtos; e envio dos produtos.

Como resultado, arquivos com a localização geográfica dos focos de calor são gerados, fornecendo o total de focos nos horários de imageamento. Entre os produtos oferecidos estão mapas com quadrículas de aproximadamente $0,25^\circ$ de latitude e longitude, contendo o total mensal de focos de queimadas para todo o Brasil (Figura 3.3). Tal trabalho está à disposição do público na internet em INPE (2001).

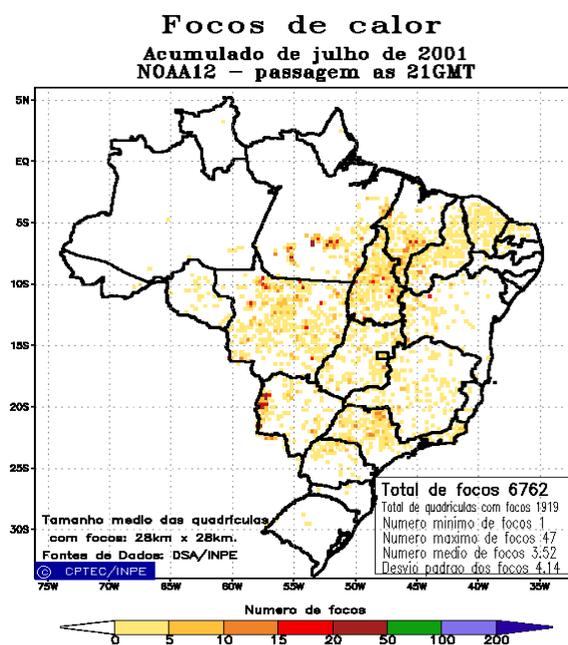


FIGURA 3.3 – Total de focos de calor no Brasil pelo AVHRR, em julho de 2001.

FONTE: INPE (2001).

Para este trabalho foram utilizados registros de focos de queimadas obtidos nos meses de julho e agosto de 1993. Além disso, os focos diários foram divididos em dois grupos, conforme a intensidade, ou seja, intensidade fraca, de 0 a 4, e forte, de 5 a 9. Uma amostra do arquivo diário contendo os registros de focos e suas intensidades pode ser vista no Apêndice C.

3.1.6 – Equipamentos e Programas

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos e programas computacionais: um microcomputador Pentium 200MMX, com 3,2 Gb de memória; uma “Sun Sparck Station” 20 com sistema operacional Solaris 2.7; os programas Excel 97 e Word 97 da Microsoft; e o programa Statistica versão 5.0.

3.1.7 – Ferramentas Estatísticas

Como neste trabalho utilizam-se algumas ferramentas estatísticas, apresenta-se a seguir sua identificação de maneira sucinta, apenas para efeito de definição dos parâmetros envolvidos.

Segundo Waugh (1946), o fato de afirmar-se que duas variáveis são relacionadas não indica que a dependência entre elas seja definitiva. Assim, não se pode afirmar que a dependência entre duas variáveis é simples e única, pois, muitas vezes, outras variáveis podem interferir na relação. Na maioria dos problemas estatísticos há muitas variáveis e a relação exata existente entre elas é desconhecida, ou seja, não existem fórmulas com a representação matemática completa do problema. Além disso, geralmente, uma variável não possibilita precisar a outra, mas permite estimar a segunda com menor erro.

3.1.7.1 – Ajuste de Curvas

Quando se deseja expressar a relação entre duas variáveis X e Y na forma de equação matemática, pode-se utilizar diagramas de dispersão. Nestes, é possível visualizar uma curva que se aproxime dos dados, quando há alguma correlação entre eles, conhecida como ajuste. Tal curva pode ser representada por equações lineares ou não-lineares (Spiegel, 1985).

Existem métodos de ajuste de curvas, tais como o método à mão livre, que depende do conhecimento prévio da curva, e o método dos mínimos quadrados, que depende da

diferença entre o valor da variável nos vários pontos do diagrama de dispersão, e o valor correspondente da mesma variável na curva (Figura 3.4). Tal diferença é conhecida como desvio.

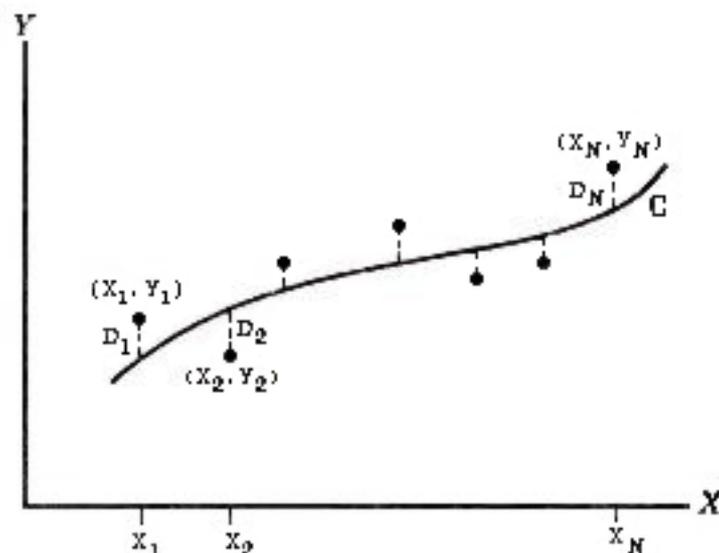


FIGURA 3.4 – Curva de ajuste para o método dos mínimos quadrados.
FONTE: Spiegel (1985, p 275).

Segundo Spiegel (1985) e Waugh (1946), uma medida da qualidade do ajuste da curva C (Figura 3.3) aos dados, chamada aderência, é proporcionada pela quantidade $D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2$. Neste caso, X é a variável independente e Y a variável dependente. Além disso, quando se deseja, com base em dados amostrais, estimar o valor de Y, através dos valores de X, a curva é denominada de regressão de Y para X.

3.1.7.2 – Correlação Estatística

Se os pontos de um diagrama de dispersão satisfazem exatamente a uma equação, diz-se que as variáveis envolvidas são perfeitamente correlacionadas. A correlação pode ser linear ou não-linear, sendo que no segundo caso os pontos estão próximos de alguma curva e a equação não se refere à de uma reta.

O coeficiente de correlação r , que mede o grau de ajustamento dos dados à equação considerada, pode ser expresso por (Spiegel, 1985):

$$r = \{ 1 - [\Sigma(Y - Y_{est})^2 \cdot \Sigma(Y - Y_m)^{-2}] \}^{0,5} \quad (17)$$

ou

$$r = [1 - (S_y / \delta_y)^2]^{0,5} \quad (18)$$

onde S_y^2 representa o quadrado do afastamento padrão dos erros de estimativa e δ_y^2 representa o quadrado do afastamento padrão dos dados originais. Existem equações semelhantes quando se alternam as variáveis X e Y . Além disso, tal definição do coeficiente de correlação é absolutamente geral e pode ser empregada tanto para relações lineares, quanto não-lineares.

Dessa maneira, verifica-se que quando existe perfeita correlação entre duas variáveis, $r = \pm 1$. Segundo Waugh (1946) deve-se observar que:

- 1) se não houver correlação entre duas variáveis, o valor de r tende a 0;
- 2) e se o valor de r entre duas variáveis for próximo a 0, ou não haverá correlação entre elas, ou a relação que porventura exista não poderá ser descrita pela equação de regressão apresentada.

Além disso, de acordo com Neto (1977), r^2 , o coeficiente de determinação indica o quanto a curva de regressão está bem determinada em função da correlação entre os pontos experimentais. Por exemplo, para $r = 0,7$, tem-se um coeficiente de determinação igual a 0,49, significando que a curva de regressão não consegue explicar nem a metade da variação da variável dependente.

Após a determinação do valor do coeficiente de correlação “ r ”, deve-se verificar se esse é ou não significativo, ou seja, se “ r ” indica ou não uma variação correlacionada entre as duas variáveis. Neste caso, deve-se lembrar que, em geral, o valor de “ r ” é calculado com base no número de elementos da amostra. Assim, sabendo-se o valor do coeficiente de correlação, combinado-o com o respectivo tamanho da amostra “ n ”, pode-se concluir a um certo nível de significância, se existe ou não correlação entre as variáveis. Para isso, utiliza-se uma tábua de significância, ou aplica-se um teste estatístico de hipótese como o “ t ” de “*Student*”, com grau de liberdade $n-2$ (Neto, 1977; Spiegel, 1985). Tal

teste consiste em calcular o valor de “t”, utilizando-se a equação (19), e comparando-o com valor de “t” crítico retirado diretamente da tabela de distribuição “t” de *Student* (Sansigolo, 2001; Neto, 1977).

$$T_{n-2} = r [(n-2) / (1-r^2)]^{1/2} \quad (19)$$

Se o valor de “t” calculado for superior ao de “t” indica que existe dependência significativa entre as variáveis tratadas.

3.2 – Métodos

Os estudos das relações entre visibilidade horizontal e cada uma das outras variáveis abordadas nesta dissertação (espessura óptica de aerossóis, concentração de particulados finos à superfície e focos de queimadas) exigiram, evidentemente, enfoques diferentes para cada relação. Dessa forma, neste tópico, apresenta-se, concisamente, os procedimentos aplicados para cada estudo; além dos critérios usados em algumas possíveis aplicações, decorrentes dos resultados obtidos.

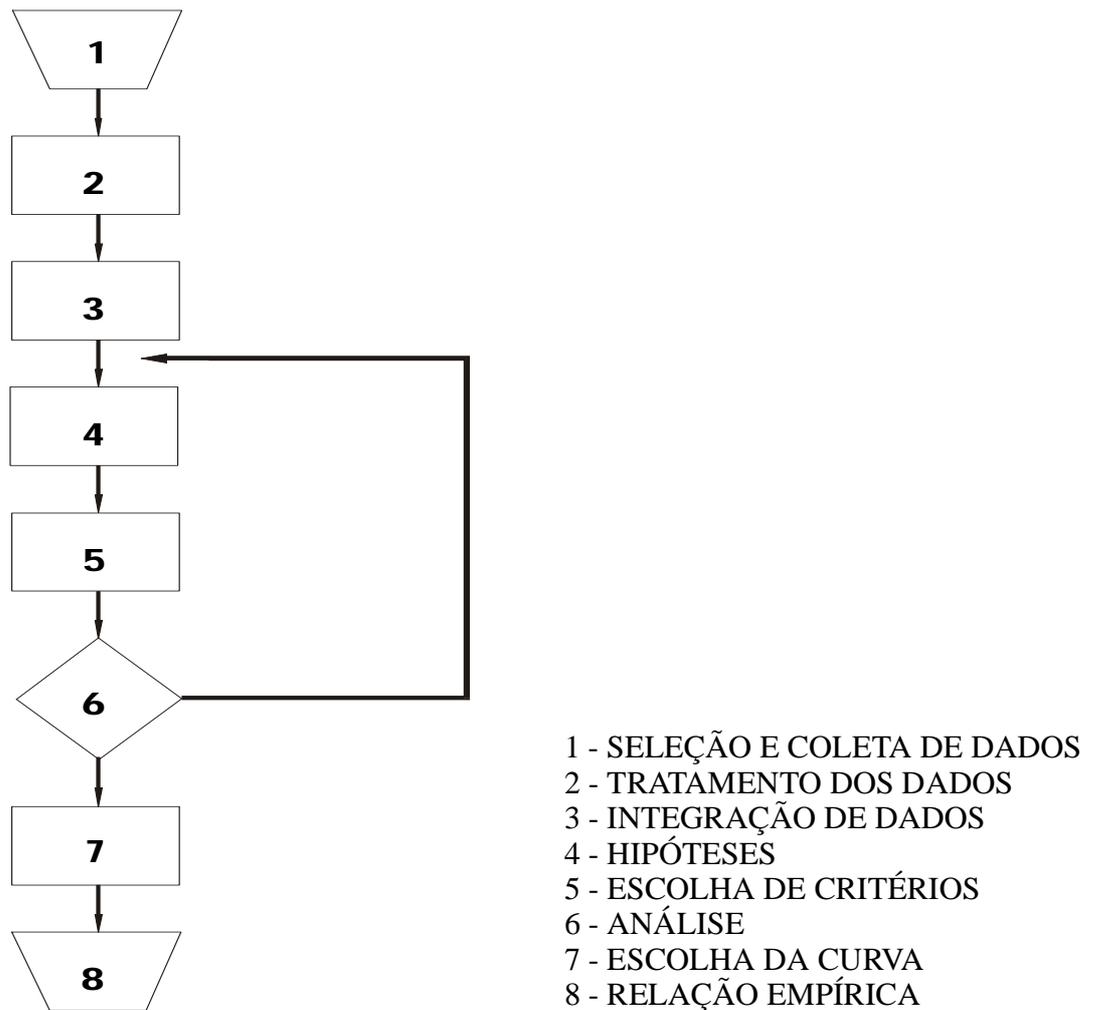


FIGURA 3.5 – Fluxograma das fases seguidas no estudo empírico entre visibilidade e profundidade óptica, ou concentração de particulado fino à superfície, ou total de focos de queimadas.

3.2.1 – Relação Empírica entre Visibilidade e Profundidade Óptica de Aerossóis

O método adotado no estudo da relação empírica entre a visibilidade horizontal e a espessura óptica de aerossóis (profundidade óptica) nas localidades de Alta Floresta e Cuiabá, está esquematizado na Figura (3.4). Assim, para melhor entendimento, cada uma de suas fases será descrita abaixo:

Fase 1: Seleção e coleta de dados

Optou-se por registros de visibilidade e de espessura óptica efetuados no período vespertino, mais especificamente por aqueles referentes aos horários das 15 e 18 horas TMG, os quais correspondem às 11 e 14 horas (local), respectivamente. Esta opção decorreu do fato de que valores elevados de umidade relativa influenciam na visibilidade e que nos horários selecionados a umidade relativa é, em geral, a menor do dia. Portanto, teria menor efeito de contaminação dos valores, conforme discutido no item 2.6.1 deste trabalho. Além disso, tais horários estão relacionados com menores ângulos zenitais solares. Desta forma, os valores registrados de espessura óptica estão mais próximos dos de profundidade óptica, além de sofrerem menos influência de nuvens, cuja formação e desenvolvimento são mais intensos no final do período vespertino.

Optou-se pelos comprimentos de onda $\lambda = 441 \text{ nm}$ e $\lambda = 672 \text{ nm}$ para as medições de espessura óptica, pois estão mais centrados na faixa espectral do visível.

Fase 2: Tratamento dos dados

Os dados de visibilidade e de espessura óptica, para este estudo, foram obtidos através da média aritmética dos três registros mais próximos dos horários selecionados, quando existentes. Os registros de espessura óptica foram convertidos em valores de profundidade óptica através da equação $\sigma = \text{AOT} \cdot \cos \theta$, onde: σ é profundidade óptica; AOT é espessura óptica; e θ é o ângulo zenital solar.

Fase 3: Integração de dados

Os dados foram apresentados através de diagramas de dispersão, considerando-se a visibilidade como variável independente (abscissa, x) e a profundidade óptica como dependente (ordenada, y).

Fase 4: Hipóteses

Nesta fase, analisaram-se as seguintes hipóteses para o ajuste da curva de tendência, referente aos dados dos diagramas: linear; logarítmica; potência; e exponencial.

Fase 5: Escolha de critérios para extração dos dados que estejam muito fora da hipótese (“*outliers*”).

Alguns pontos dos diagramas foram selecionados para remoção antes dos ajustes de curvas. Assim, verificou-se, nos formulários meteorológicos, o comportamento de outros parâmetros tais como, umidade relativa e total de cobertura de nuvens, que pudessem ter prejudicado a aquisição dos dados de espessura óptica. Foram considerados “*outliers*” registros que apresentaram umidade relativa superior a 60% e total da cobertura de nuvens superior a três oitavos do céu inteiro.

Fase 6: Análise

Nesta etapa, traçaram-se as curvas de tendência para cada uma das hipóteses, com e sem os dados selecionados para extração na fase anterior. Além disso, calculou-se o coeficiente de determinação “ R^2 ”, para todos os casos, e o coeficiente de correlação “ r ”, verificando-se o grau de significância para 99 %.

Fase 7: Escolha da curva

A escolha da curva foi feita com base nos valores obtidos para o coeficiente de determinação “ R^2 ” e no sentido físico das equações analisadas.

Fase 8: Resultados obtidos

Apresenta-se a curva empírica resultante da análise dos dados de visibilidade e espessura óptica de aerossóis (profundidade óptica).

3.2.2 – Relação Empírica entre Visibilidade e Concentração de Particulado Fino

No estudo da relação empírica entre a visibilidade horizontal e concentração de particulados finos, nas localidades de Alta Floresta e Cuiabá, foi aplicado, também, o fluxograma apresentado na Figura 3.4. Desta forma, para melhor entendimento, cada uma das fases executadas no referido estudo será descrita a seguir.

Fase 1: Seleção e coleta de dados

Optou-se por registros de visibilidade efetuados no período vespertino, mais especificamente por aqueles referentes aos horários das 15 e 18 horas TMG. Para os registros de concentração de particulados finos, utilizou-se o total acumulado, para cada período de troca de filtros, ou períodos de amostragem, que variam desde 24 horas até 9 dias.

Fase 2: Tratamento de dados

Os dados de visibilidade, para este estudo, foram obtidos pelo cálculo das médias geométricas dos valores registrados no intervalo de cada troca de filtro, ou amostragem, utilizando-se os valores de visibilidade para os horários selecionados. Escolheu-se a média geométrica por dar maior peso aos valores mais reduzidos de visibilidade, pois de acordo com Sansigolo (2001) e Spiegel (1985) uma das propriedades da média geométrica é que ela é sempre menor ou igual à média aritmética.

Fase 3: Integração de dados

Os dados foram apresentados em diagramas de dispersão, considerando-se a concentração de aerossóis como variável independente (abscissa, x) e a visibilidade como dependente (ordenada, y).

Fase 4: Hipótese

Nesta fase, as seguintes hipóteses para o ajuste da curva de tendência, referente aos dados dos diagramas foram consideradas: linear; logarítmica; potência; e exponencial.

Fase 5: Escolha de critérios para extração dos dados situados muito fora da hipótese (“*outliers*”).

A extração de pontos dos diagramas de dispersão, antes da aplicação das curvas de regressão, foi baseada nos seguintes critérios: 1) condições de instabilidade atmosférica, asseguradas com o registro da presença de nuvens cumuliformes baixas e médias; 2) ocorrência de precipitação ou trovoadas durante os períodos de amostragem; e 3) informações complementares, como filtros entupidos.

Fase 6: Análise

Nesta etapa, traçaram-se as curvas de regressão para cada uma das hipóteses, com e sem os dados selecionados para extração na fase anterior. Além disso, calculou-se o coeficiente de determinação “ R^2 ”, para todos os casos, e o coeficiente de correlação “ r ”, verificando-se o grau de significância para 99 %.

Fase 7: Escolha da curva

A escolha da curva foi feita com base nos valores obtidos para o coeficiente de determinação “ R^2 ” e no sentido físico das equações analisadas.

Fase 8: Resultados obtidos

Apresenta-se a curva empírica resultante a análise dos dados de concentração de particulados finos e visibilidade.

3.2.3 – Relação Empírica entre Visibilidade e Registros de Focos de Queimadas

A Figura 3.4, apresentada anteriormente, da mesma forma que para os dois itens anteriores, representa a seqüência de passos adotada no estudo da relação empírica entre visibilidade horizontal e registros de focos de queimadas nas localidades de Alta Floresta e Cuiabá. Assim, para melhor entendimento, cada uma de suas fases será descrita a seguir.

Fase 1: Seleção e coleta de dados

Utilizaram-se registros de visibilidade feitos no período vespertino; mais especificamente, aqueles referentes ao horário de 18 horas TMG, pois neste horário foi observado que o parâmetro visibilidade sofreu menos influência da variável umidade relativa, ou seja, os valores de umidade registrados nos formulários meteorológicos,

neste horário, em geral, foram inferiores aos das 15 horas TMG, para as duas localidades durante período de estudo. Para os dados de queimadas, optou-se por aqueles registrados dentro das áreas definidas pelas seguintes coordenadas geográficas: 1) Área de Alta Floresta, 08°00'S / 57°00W, 08°00'S / 55°00W, 11°00'S / 55°00W, 11°00'S / 57°00W; área de Cuiabá, 13°00'S / 57°00W, 17°00'S / 57°00W, 17°00'S / 55°00W, 13°00'S / 55°00W. Tais limites geográficos foram escolhidos para facilitarem as contagens dos números diários de focos de calor, e correspondem aproximadamente a células com 300 km x 200 km.

Fase 2: Tratamento dos dados

Os dados de visibilidade para este estudo foram obtidos pela média aritmética dos três registros mais próximos do horário selecionado, quando existentes. Os registros de queimadas representam o total diário de focos em cada uma das áreas citadas na fase anterior, e foram divididos em três grupos: 1) total focos; 2) total de focos com intensidade de 0 a 4, considerada fraca; e 3) total de focos com intensidade de 5 a 9, considerada forte.

Fase 3: Integração de dados

Os dados foram apresentados em diagramas de dispersão, considerando-se a visibilidade como variável independente (abscissa, x) e o número de focos como dependente (ordenada, y).

Fase 4: Hipótese

Nesta fase, analisaram-se as seguintes hipóteses para ajuste da curva de tendência, referente aos dados dos diagramas: linear; logarítmica; potência; e exponencial.

Fase 5: Escolha de critérios para extração dos dados situados muito fora da hipótese (“*outliers*”).

Pontos dos diagramas de dispersão foram considerados “*outliers*” quando os registros de visibilidade foram feitos durante a ocorrência de precipitação e/ou trovoadas, ou quando a umidade relativa registrada no momento da observação foi superior a 60%. Além disso, alguns pontos foram considerados duvidosos por representarem total de focos nulo, sendo que em alguns destes casos os totais registrados nos dias anteriores

foram elevados. Tal fato, possivelmente, deve estar associado com o número de órbitas diárias, que não é inteiro, e ao campo limitado de visada do satélite. Neste caso, uma região, para uma seqüência cronológica de imagens, pode ser totalmente, parcialmente ou não ser imageada.

Fase 6: Análise

Nesta etapa, traçaram-se as curvas de tendência para cada uma das hipóteses, com e sem os dados selecionados para extração na fase anterior. Além disso, calculou-se o coeficiente de determinação “ R^2 ” para todos os casos.

Fase 7: Escolha da curva

A escolha da curva foi feita com base nos valores obtidos para o coeficiente de determinação “ R^2 ” e no sentido físico das equações analisadas.

Fase 8: Resultados obtidos

Apresentam-se as curvas empíricas resultantes da análise dos dados de focos de queimadas e visibilidade, para cada uma das áreas.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste Capítulo, apresentam-se os resultados obtidos para cada uma das relações empíricas estudadas e das estimativas realizadas, assim como, sua discussão.

4.1 – Relação Empírica entre Visibilidade e Profundidade Óptica de Aerossóis da Área de Estudo

Os resultados dos estudos da relação empírica entre visibilidade horizontal, registrada nos aeródromos, e profundidade óptica de aerossóis em Alta Floresta e Cuiabá, estão representados pelas curvas de tendência, ou regressão, ajustadas aos conjuntos de dados mostrados em diagramas de dispersão. As curvas resultantes decorreram das análises dos valores obtidos em vários tipos de ajustes dos coeficientes de determinação, ou regressão, “R²” e da fundamentação teórica apresentada na revisão bibliográfica deste trabalho. Além disso, apresenta-se o coeficiente de correlação “r” de cada caso, sendo verificado seu nível de confiança com significância de 99 %. Assim, todos os resultados alcançados, para as duas localidades, estão apresentados a seguir.

4.1.1 – Resultados Obtidos para Alta Floresta

Os diagramas de dispersão obtidos para Alta Floresta - MT, contendo todos os dados de visibilidade e de profundidade óptica de aerossóis, para os comprimentos de onda $\lambda = 441 \text{ nm}$ e $\lambda = 672 \text{ nm}$, dos anos de 1993 e 1994, referentes aos horários das 15 e 18 horas TMG, estão apresentados nas Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6.

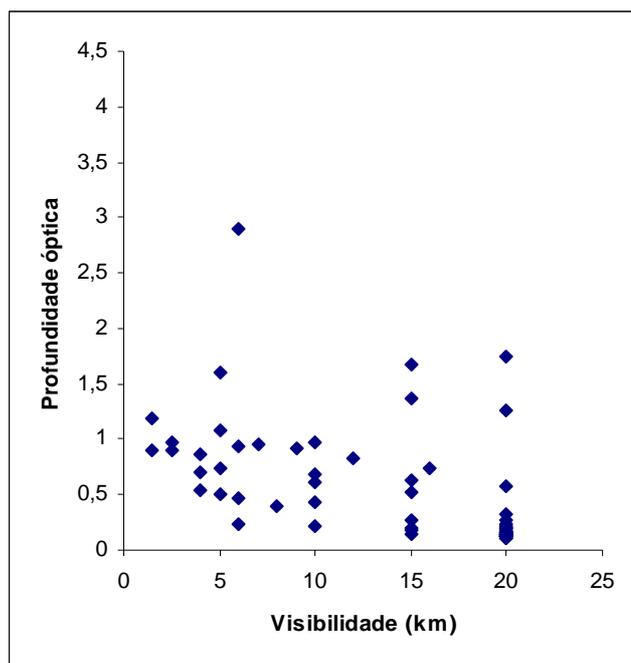


FIGURA 4.1 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 672$ nm) em Alta Floresta em 1993, 15h TMG, incluindo todos os dados.

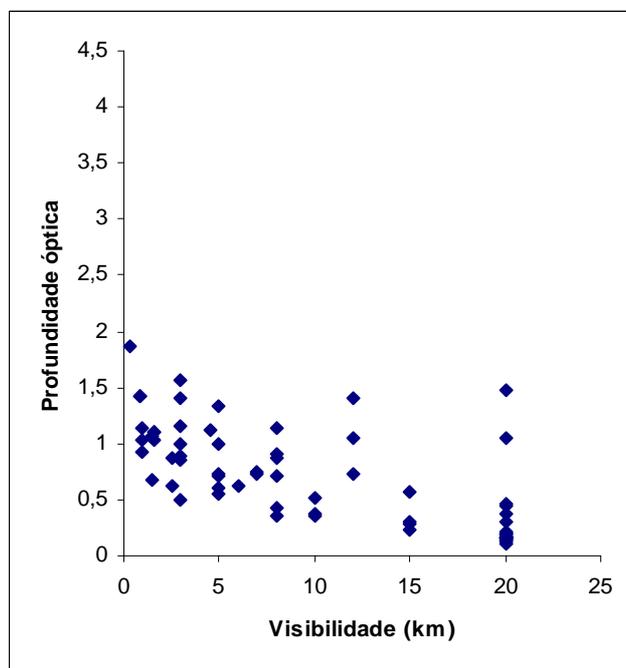


FIGURA 4.2 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 672$ nm) em Alta Floresta em 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.

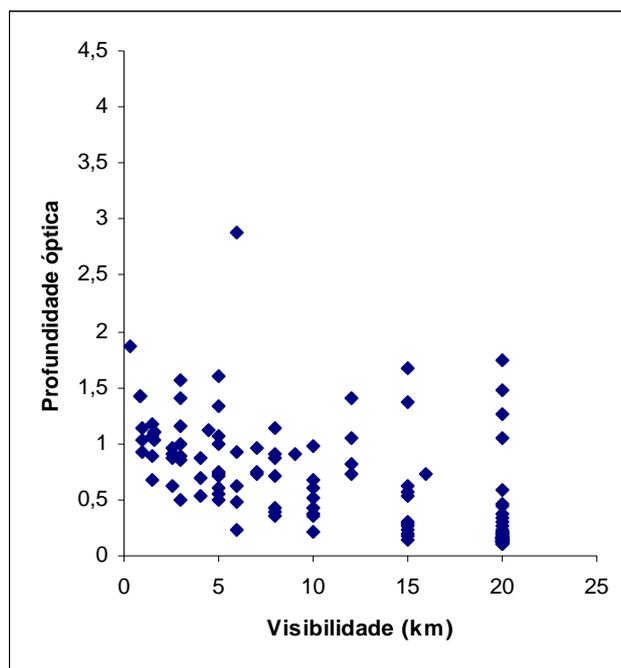


FIGURA 4.3 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 672 \text{ nm}$) em Alta Floresta em 1993 e 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.

Observa-se, por exemplo, na Figura 4.3, que foram registrados muitos valores de visibilidade inferiores a cinco quilômetros. Chama-se atenção para este fato, pois parametrizações conhecidas, da transmitância para aerossóis, como aquela apresentada por Ångström (Iqbal, 1983) e utilizada no modelo de irradiação solar BRASILSR (ver item 2.4 desta dissertação) não apresentam soluções para valores tão baixos. Portanto, em regiões afetadas por queimadas, como Alta Floresta, tais modelos não devem ser utilizados na sua atual concepção. Além disso, outro fato observado é a discretização dos valores de visibilidade, bem caracterizada no intervalo de 10 a 20 km da Figura 4.3, que pode prejudicar nos ajustes das curvas.

Os gráficos apresentados a seguir, referentes às localidades de Alta Floresta e, posteriormente, de Cuiabá, contêm dados de visibilidade e de profundidade óptica dos anos de 1993 e 1994 integrados, tal como o da Figura 4.3, pois, assim, é maior o número de registros usados nos estudos empíricos e nas análises das curvas de tendência.

As tabelas contendo todos os dados diários de visibilidade, profundidade óptica, total de nuvens do tipo cirrus, total de nuvens médias e baixas, e umidade relativa, referentes à localidade de Alta Floresta, são encontradas no Apêndice D. Nestas, não estão apresentados os registros que foram extraídos (“*outliers*”), por não estarem dentro dos critérios meteorológicos citados na fase 5 do item 3.2.1 desta dissertação.

Considera-se uma medição ideal da profundidade óptica de aerossóis, realizada com fotômetros solares, aquela feita com céu claro, sem nebulosidade. No entanto, nuvens cirrus, por serem altas e possuírem pequena extensão vertical comparadas com nuvens médias e baixas, podem influenciar na aquisição dos dados de profundidade óptica de aerossóis, conforme ilustrado no registro do dia 29/07/1993 da tabela 1 do Apêndice D. Neste caso, a medida de profundidade óptica foi feita quando o céu estava com sete oitavos do inteiro coberto por nuvens cirrus, mascarando, possivelmente, os verdadeiros valores de profundidade. Hoben et al. (1998) afirmam que o controle de qualidade dos dados de profundidade óptica da rede Aeronet quanto à contaminação por nuvens é realizado pela diferença entre o grau de movimentação temporal das nuvens e dos aerossóis; entretanto, dados como o de 29/07/1993, aparentemente, escaparam ao controle automático na rede Aeronet.

Outra variável meteorológica que influencia nas medidas de profundidade óptica de aerossóis é a umidade relativa, como já discutido no item 2.6 deste trabalho. De acordo com Nilsson (1994) a umidade relativa começa a interferir na aquisição de dados ópticos na atmosfera quando seu valor é superior a 65%; Horvath e Trier (1993) afirmaram que este valor de umidade relativa é de 60%. Em Alta Floresta, por exemplo, observou-se no registro meteorológico das 15 horas TMG do dia 18/09/1994 (ver Anexo 4), umidade relativa igual a 71%. Este valor, segundo a fundamentação teórica, altera a área da superfície dos particulados em suspensão na atmosfera, interferindo nos valores de profundidade óptica de aerossóis. Neste caso, o referido registro foi considerado como “*outlier*”.

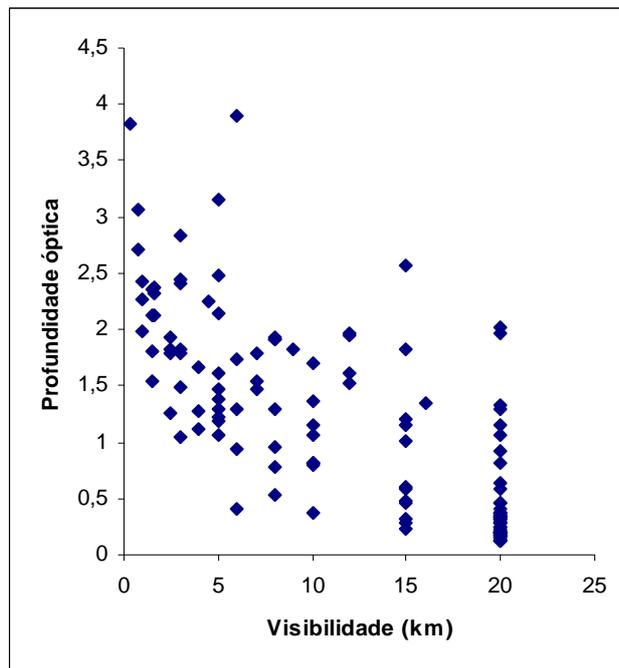


FIGURA 4.4 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 441$ nm) em Alta Floresta em 1993 e 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.

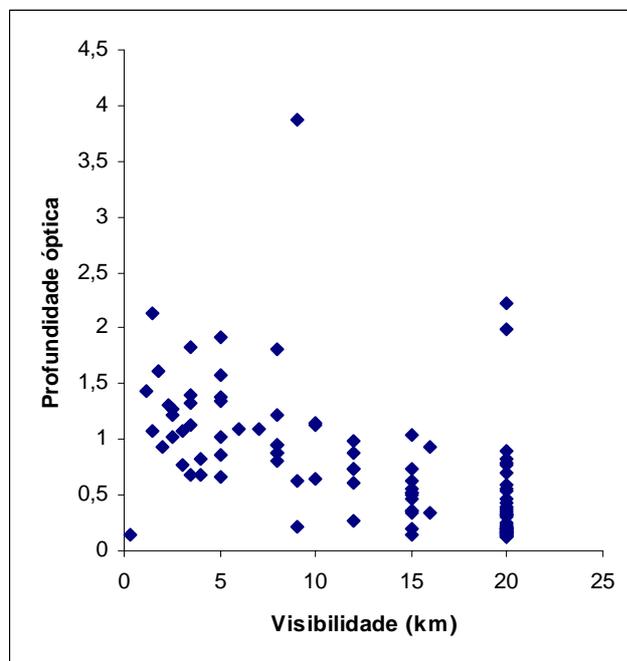


FIGURA 4.5 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 672$ nm) em Alta Floresta em 1993 e 1994, 18h TMG, incluindo todos os dados.

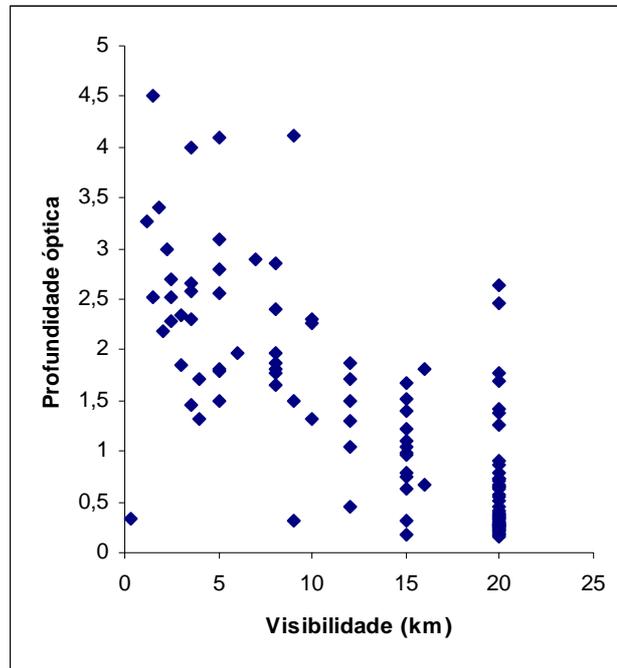


FIGURA 4.6 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 672 \text{ nm}$) em Alta Floresta em 1993 e 1994, 18h TMG, incluindo todos os dados.

Após a eliminação dos dados que apresentaram valores de umidade relativa maior que 60% e/ou total de nuvens superior a três oitavos do céu inteiro, obtiveram-se novos diagramas de dispersão. Com base nesses novos diagramas, ajustaram-se curvas de tendência para cada uma das hipóteses apresentadas na fase 4 do item 3.2.1. Desta forma, os valores dos coeficientes de determinação, “ R^2 ”, encontrados estão apresentados na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 – Coeficientes de Determinação de A. Floresta para os Dados de Visibilidade e Profundidade Óptica.

Curva e R ²	18h (TMG) (672nm)	18h (TMG) (441nm)	15h (TMG) (672nm)	15h(TMG) (441nm)
Linear	Y = -0,09x + 2,2 R ² = 0,71	Y = -0,05x + 1,1 R ² = 0,72	Y = -0,06x + 1,5 R ² = 0,75	Y = -0,13x + 3 R ² = 0,71
Exponencial	Y = 2,6e^{-0,11x} R² = 0,77	Y = 1,3e^{-0,10x} R² = 0,74	Y = 1,6e^{-0,10x} R² = 0,82	Y = 3,6e^{-0,11x} R² = 0,75
Logarítmica	Y = -0,7lnx + 2,6 R ² = 0,70	Y = -0,34lnx + 1,3 R ² = 0,73	Y = -0,48lnx + 1,7 R ² = 0,78	Y = -1,06lnx + 3,7 R ² = 0,74
Potência	Y = 3,5.x ^{-0,73} R ² = 0,70	Y = 1,6.x ^{-0,67} R ² = 0,69	Y = 2,6.x ^{-0,76} R ² = 0,72	Y = 5,9.x ^{-0,82} R ² = 0,64

O conjunto de dados que apresentou melhor ajuste com as curvas teóricas aplicadas foi o das 15 horas TMG, com $\lambda = 672$ nm, apesar de as diferenças entre os valores de “R²” terem sido relativamente pequenas. Neste horário, a convecção e a umidade atmosférica são, geralmente, menores Riehl (1965). Portanto, estes fatores podem ter contribuído para os resultados mostrados na tabela acima, quando a camada de mistura era menor e mais homogênea.

Segundo a lei de Beer (Iqbal, 1983) e a teoria da visibilidade de Koschemider (Middleton, 1952), brevemente revisadas nos itens 2.4 e 2.6 desta dissertação, respectivamente, a curva teórica que relaciona o coeficiente de extinção da radiação eletromagnética com a visibilidade padrão, é dada pela relação inversamente proporcional entre as variáveis envolvidas para uma camada atmosférica homogênea; ou seja, a distribuição de particulados na referida camada é tida como homogênea. Porém, neste trabalho, as variáveis envolvidas não foram medidas na mesma direção. Na verdade, os valores de profundidade óptica de aerossóis obtidos foram associados à concentração de particulados na vertical, sobre os fotômetros solares, enquanto que os registros de visibilidade referiam-se à direção horizontal; portanto, hipoteticamente, os dados de visibilidade são obtidos ortogonalmente aos de profundidade óptica.

Além disso, de acordo com Fenn e Shettle (1979), Iqbal (1983), Liou (1980), etc. a distribuição vertical da concentração de aerossóis na atmosfera decai exponencialmente, observando-se maiores concentrações nos níveis mais baixos. Assim, optou-se pela curva teórica exponencial, para representar as curvas empíricas resultantes de dados de visibilidade (variável independente) e profundidade óptica de aerossóis (variável dependente) de Alta Floresta, nos períodos de julho a setembro de 1993 e 1994, Figuras 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10. Como na Tabela 4.1, os melhores “R²” foram também os da curva exponencial, sugere-se este ajuste como o mais adequado para os dados.

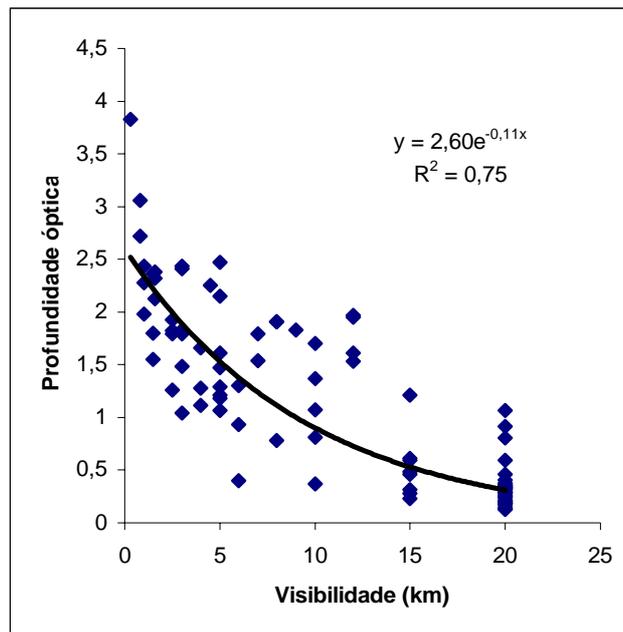


FIGURA 4.7 – Curva resultante com visibilidade e profundidade óptica ($\lambda = 441$ nm) de Alta Floresta em 1993 e 1994, 15h TMG, sem “outliers”.

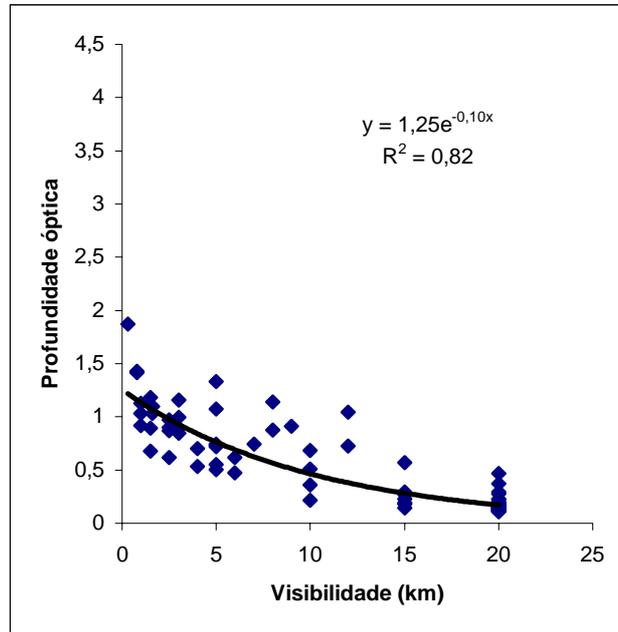


FIGURA 4.8 – Curva resultante com visibilidade e profundidade óptica ($\lambda = 672$ nm) de Alta Floresta em 1993 e 1994, 15h TMG, sem “outliers”.

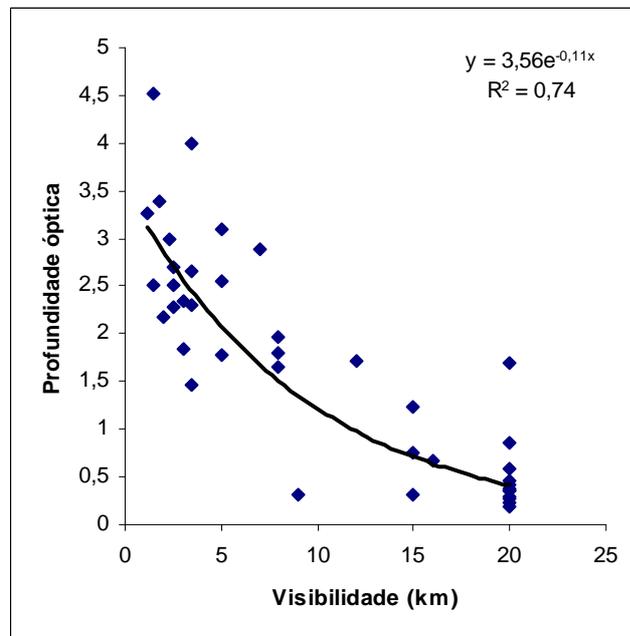


FIGURA 4.9 – Curva resultante com visibilidade e profundidade óptica ($\lambda = 441$ nm) de Alta Floresta em 1993 e 1994, 18h TMG, sem “outliers”.

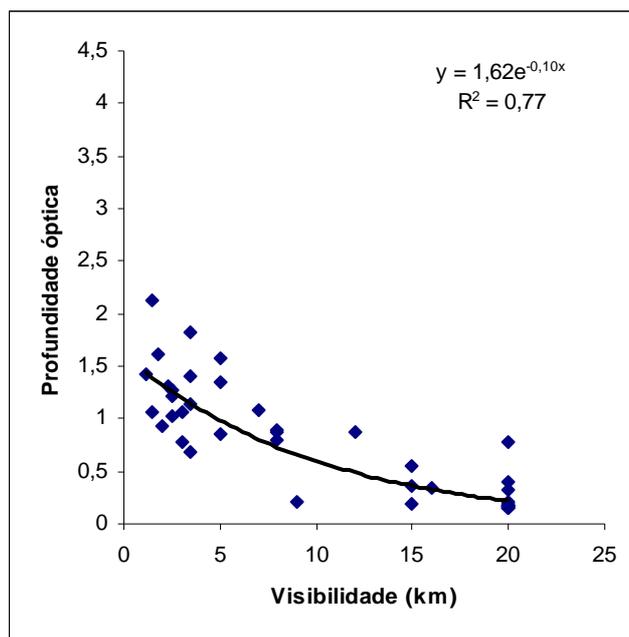


FIGURA 4.10 – Curva resultante com visibilidade e profundidade óptica ($\lambda = 672 \text{ nm}$) de Alta Floresta em 1993 e 1994, 18h UTC, sem “outliers”.

Os valores dos coeficientes de correlação “r” entre visibilidade e profundidade óptica de aerossóis estão apresentados na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 – Coeficientes de Correlação e Teste de Significância entre Visibilidade e Profundidade Óptica de Alta Floresta

	18h 672nm	18h 441nm	15h 672nm	15h 441nm
R	-0,84	-0,85	-0,87	-0,84
Tamanho	n = 40	n = 40	n = 94	n = 80
n-2	38	38	92	78
Teste t	9,54	9,95	16,92	13,67
t crítico	2,43	2,43	2,36	2,37

Após a realização do teste de significância t de *Student* constatou-se que a 99 % os coeficientes de correlação “r” são significativamente diferentes de zero, ou seja, existe uma dependência linear significativa entre as variáveis, visibilidade e profundidade óptica, nos quatro casos tratados neste item. Tais resultados foram alcançados comparando-se os valores obtidos para t com os valores críticos de t (Tabela 4.2), estes últimos são funções do grau de liberdade das amostras e do intervalo de confiança escolhido e foram encontrados com auxílio da tabela de significância apresentada em Neto (1977).

4.1.2 – Resultados Obtidos para Cuiabá

Os diagramas de dispersão obtidos para Cuiabá MT, contendo todos os dados de visibilidade e de profundidade óptica de aerossóis, para os comprimentos de onda $\lambda = 441 \text{ nm}$ e $\lambda = 672 \text{ nm}$, dos anos de 1993 e 1994, referentes aos horários das 15 e 18 horas TMG, estão apresentados nas Figuras 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14.

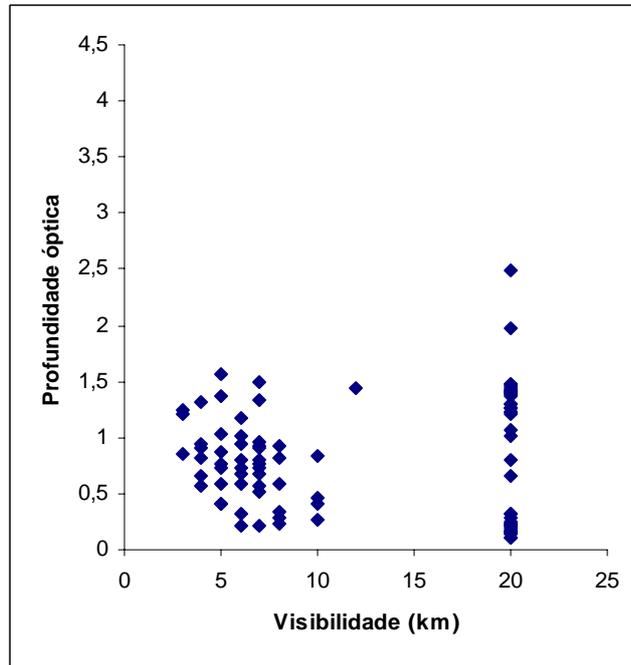


FIGURA 4.11 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 672$ nm) em Cuiabá em 1993 e 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.

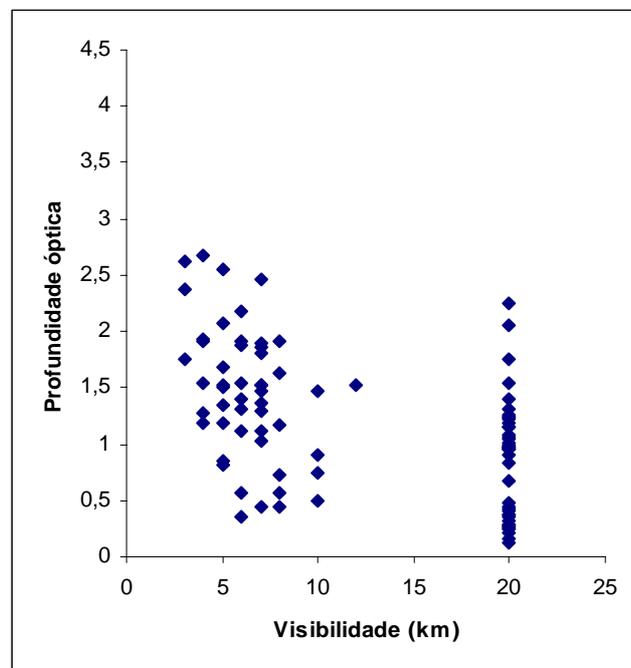


FIGURA 4.12 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 441$ nm) em Cuiabá em 1993 e 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.

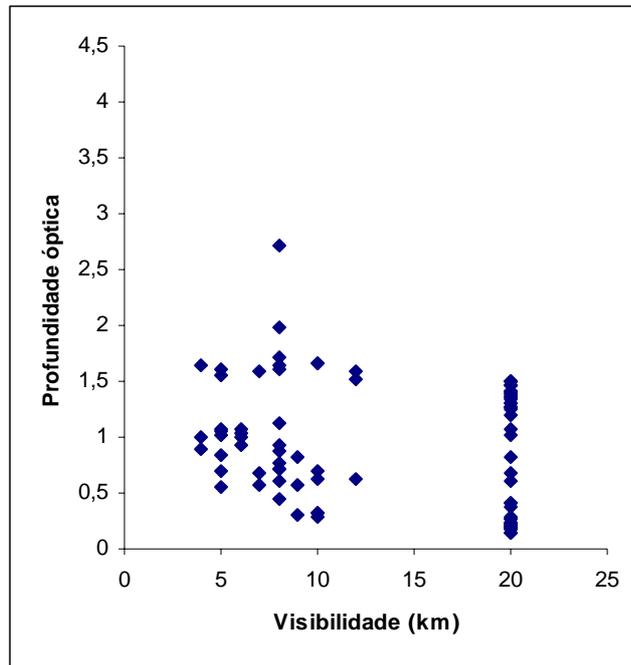


FIGURA 4.13 – Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 672\text{nm}$) em Cuiabá em 1993 e 1994, 18h TMG, incluindo todos os dados.

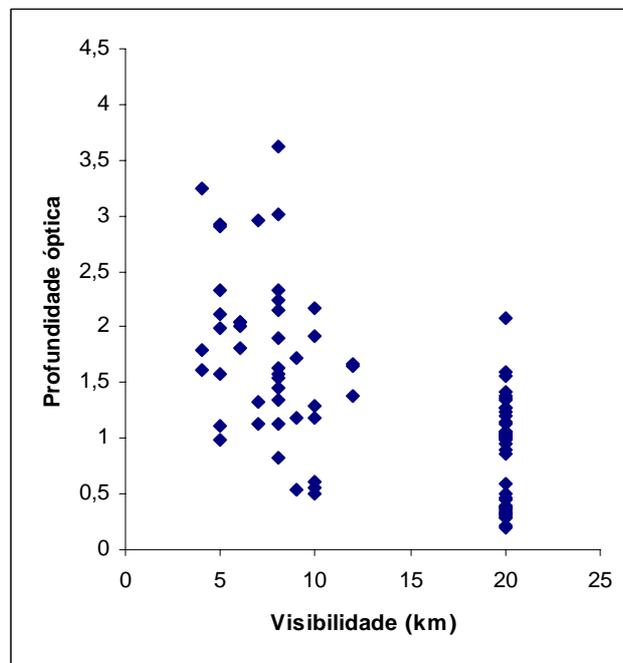


FIGURA 4.14- Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 441\text{ nm}$) em Cuiabá em 1993 e 1994, 18h TMG, incluindo todos os dados.

Em Cuiabá, os valores de visibilidade são, em geral, maiores que cinco quilômetros, sugerindo, assim, que os efeitos das queimadas, nos períodos estudados, em relação aos valores registrados em Alta Floresta, durante os mesmos períodos, foram menos intensos. Um fato observado nos diagramas de Cuiabá é a ausência de registros de visibilidade na faixa entre 15 e 20 km, e que pode estar relacionado com a falta de pontos de referência dentro deste intervalo na carta de visibilidade daquele aeródromo. Desta forma, estes dados devem ser interpretados levando em conta que várias das observações de 20 km, na realidade, deveriam ser registradas com valores entre 15 km e 20 km, portanto alterando para melhor os ajustes das curvas.

Da mesma forma que para o estudo de Alta Floresta, as tabelas contendo todos os dados diários de visibilidade, profundidade óptica, total de nuvens do tipo cirrus, total de nuvens médias e baixas, em oitavos do céu inteiro, e umidade relativa, referentes à localidade de Cuiabá, podem ser encontradas no Apêndice D. Nestas, destacam-se os “*outliers*”, selecionados conforme os critérios citados na fase 5 do item 3.2.1 deste trabalho.

Após a extração dos registros classificados como “*outliers*”, obtiveram-se novos diagramas de dispersão. Contudo, as análises individuais dos conjuntos de informações, referentes ao ano de 1994, apresentaram discrepâncias em relação à teoria, pois alguns valores altos de profundidade óptica de aerossóis estavam associados a valores elevados de visibilidade, como mostra, por exemplo, o diagrama da figura 4.15 que contém dados de Cuiabá, sem os “*outliers*”, das 15 horas TMG, para e e $\lambda = 672$ nm.

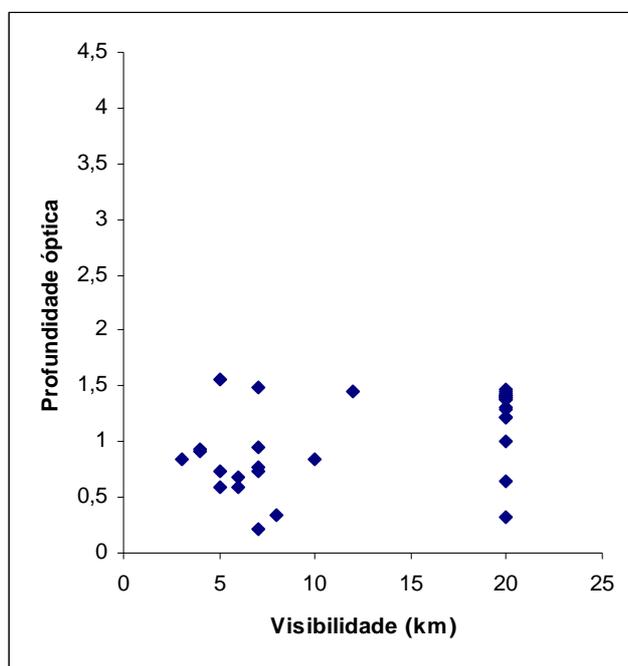


FIGURA 4.15 Visibilidade e profundidade óptica de aerossóis ($\lambda = 672$ nm) em Cuiabá em 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.

De acordo com resultados obtidos por Artaxo et al. (1994) e Gerab (1996), a concentração de particulados à superfície e profundidade óptica de aerossóis, obtida com fotômetros solares, possuem correlação significativa. Assim, registros referentes ao ano de 1994 de Cuiabá foram excluídos dos estudos com base em: 1) resultados apresentados pelos trabalhos citados neste parágrafo; 2) comparação feita entre os diagramas de dispersão contendo visibilidade e concentração de particulado fino, e aqueles que relacionam visibilidade e profundidade óptica de aerossóis, para períodos coincidentes, por exemplo, Figuras 4.15 e 4.16; esta última apresenta valores de visibilidade associados aos de concentração de particulado fino à superfície; e 3) análises das tabelas de dados apresentadas nos Apêndices D e 5. As razões que causaram estes dados indevidos não são conhecidas, aventando-se a calibração dos fotômetros, ou organização indevida do banco de dados Aeronet, tendo em vista que o conjunto de observadores meteorológicos da EMS de Cuiabá, em 1993 e 1994, não foi alterado.

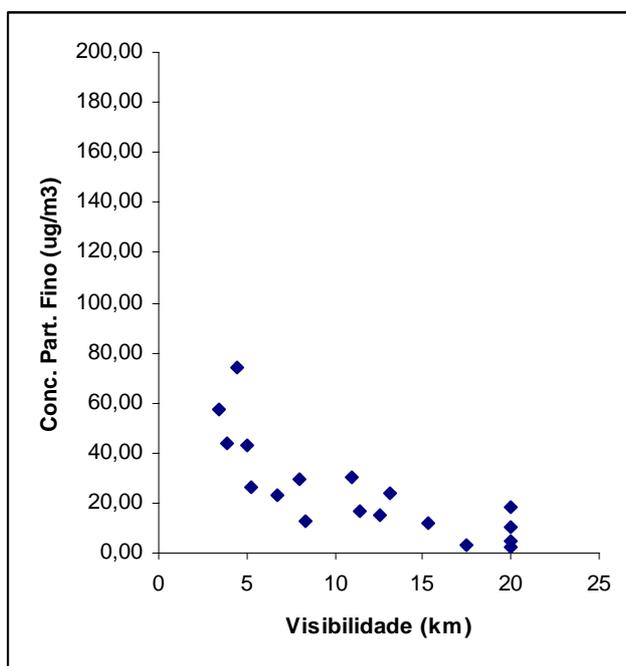


FIGURA 4.16 – Visibilidade e concentração de particulado fino em Cuiabá em 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.

Os valores encontrados para os coeficientes de determinação “R²” estão apresentados na Tabela 4.3 a seguir:

TABELA 4.3 – Coeficientes de Determinação de Cuiabá para os Dados de Visibilidade e Profundidade Óptica.

Curva e R ²	18h (TMG) (672nm)	18h (TMG) (441nm)	15h (TMG) (672nm)	15h(TMG) (441nm)
Linear	Y = -0,04x + 1,0 R ² = 0,53	Y = -0,09x + 2,0 R ² = 0,59	Y = -0,05x + 1,2 R ² = 0,61	Y = -0,10x + 2,3 R ² = 0,61
Exponencial	Y = 1,2e^{-0,10x} R² = 0,74	Y = 2,5e^{-0,11x} R² = 0,77	Y = 1,5e^{-0,10x} R² = 0,71	Y = 3,1e^{-0,11x} R² = 0,72
Logarítmica	Y = -0,48lnx + 1,6 R ² = 0,56	Y = -0,98lnx + 3,2 R ² = 0,63	Y = -0,59lnx + 2,0 R ² = 0,66	Y = -1,18lnx + 3,8 R ² = 0,66
Potência	Y = 4,0.x ^{-1,04} R ² = 0,73	Y = 9,5.x ^{-1,16} R ² = 0,76	Y = 6,7.x ^{-1,15} R ² = 0,72	Y = 16,1.x ^{-1,28} R ² = 0,72

As curvas resultantes que relacionam dados de visibilidade (variável independente) e profundidade óptica de aerossóis (variável dependente) de Cuiabá, no período de julho a setembro de 1993, estão apresentadas nas Figuras 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20. Tais curvas não incluem dos dados de 1994, pois estes apresentaram grandes desvios em relação aos conceitos teóricos pertinentes.

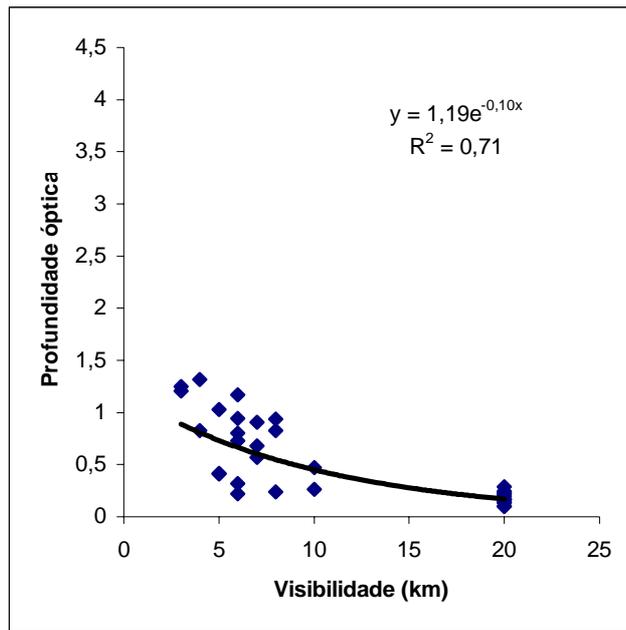


FIGURA 4.17 – Curva resultante com visibilidade e profundidade óptica ($\lambda = 672 \text{ nm}$) de Cuiabá em 1993, 15h TMG, sem “outliers”.

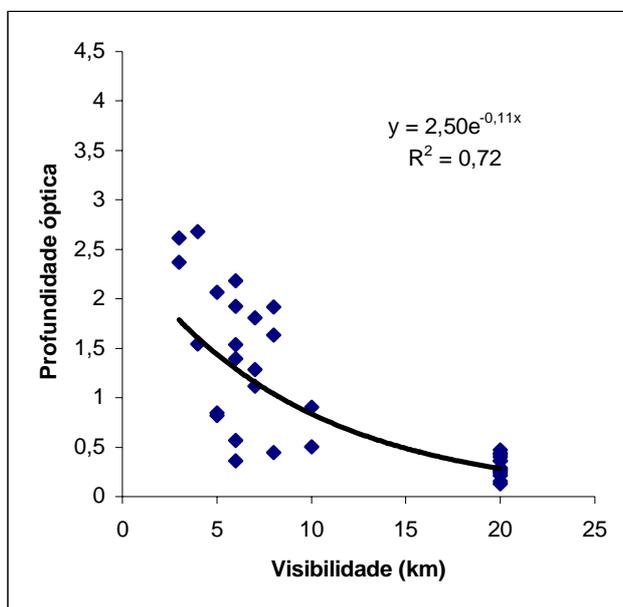


FIGURA 4.18 – Curva resultante com visibilidade e profundidade óptica ($\lambda = 441 \text{ nm}$) de Cuiabá em 1993, 15h TMG, sem “outliers”.

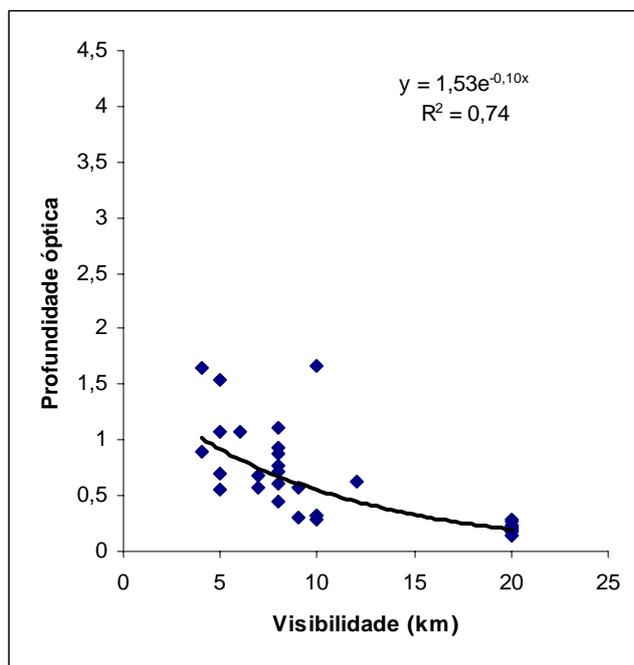


FIGURA 4.19 – Curva resultante com visibilidade e profundidade óptica ($\lambda = 672 \text{ nm}$) de Cuiabá em 1993, 18h TMG, sem “outliers”.

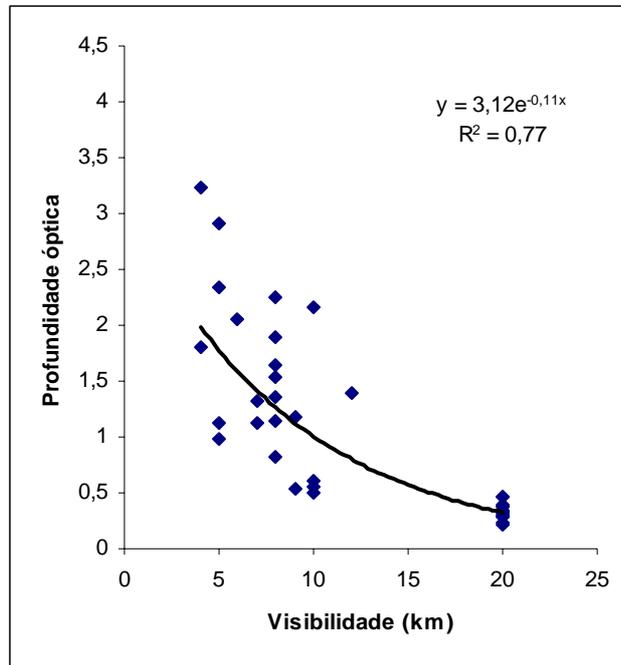


FIGURA. 4.20 – Curva resultante com visibilidade e profundidade óptica ($\lambda = 441 \text{ nm}$) de Cuiabá em 1993, 18h TMG, sem “outliers”.

A opção pela curva exponencial se deu em função dos valores obtidos para “ R^2 ” (ver Tabela 4.3) e das análises teóricas, já discutidas para Alta Floresta, cabendo lembrar que diferenças entre os coeficientes de determinação, em alguns casos, não foram expressivas.

Na Tabela 4.4 apresentam-se os valores dos coeficientes de correlação “ r ”, bem como os resultados da aplicação do teste de significância “ t ” de *student*, para relações entre visibilidade e profundidade óptica de aerossóis, para Cuiabá, apenas com registros referentes ao ano de 1993.

TABELA 4.4 – Coeficientes de Correlação e Teste de Significância entre Visibilidade e Profundidade Óptica de Cuiabá.

	18h 672nm	18h 441nm	15h 672nm	15h 441nm
r	-0,73	-0,77	0,78	0,78
Amostra	36	36	34	35
n-2	34	34	32	33
Teste t	6,23	7,04	7,05	7,16
t crítico	2,46	2,46	2,45	2,45

Os resultados apresentados na Tabela 4.4 mostram alta correlação linear entre as variáveis estudadas em Cuiabá. Na verdade, a análise dos valores obtidos com o teste “t” permite afirmar que existe uma forte dependência entre a visibilidade e a profundidade óptica de aerossóis, para um nível de significância de 99 %. Tal análise foi feita comparando os valores de “t” calculado com “t” crítico, este último obtido com auxílio da tabela de significância apresentada por Neto (1977).

4.2 - Relação Empírica entre Visibilidade e Concentração de Particulado Fino na Área de Estudo

Neste tópico, apresentam-se os resultados obtidos para os estudos da relação empírica entre visibilidade horizontal, registrada nos aeródromos, e concentração de particulado fino à superfície, em Alta Floresta e Cuiabá. Tais resultados são expressos em curvas de tendência, ajustadas aos conjuntos de dados disponíveis, após análises dos valores dos coeficientes de correlação obtidos para cada uma das curvas hipotéticas aplicadas, conforme citado na fase 4 do item 3.2.2, e fundamentadas na revisão teórica apresentada nesta dissertação. Assim, todos os resultados alcançados, para cada uma das localidades, serão apresentados a seguir:

4.2.1 – Resultados Obtidos para Alta Floresta

Os diagramas de dispersão para Alta Floresta, contendo todos os dados de visibilidade horizontal e de concentração de particulados finos, dos anos de 1993 e 1994, referentes aos horários das 15 e 18 horas TMG, estão apresentados nas Figuras 4.21 e 4.22.

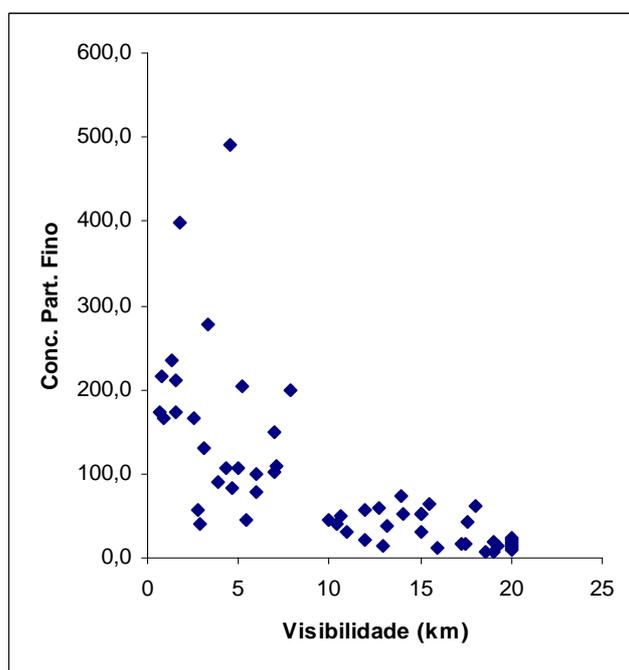


FIGURA 4.21 – Visibilidade e concentração de particulado fino para Alta Floresta em 1993 e 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.

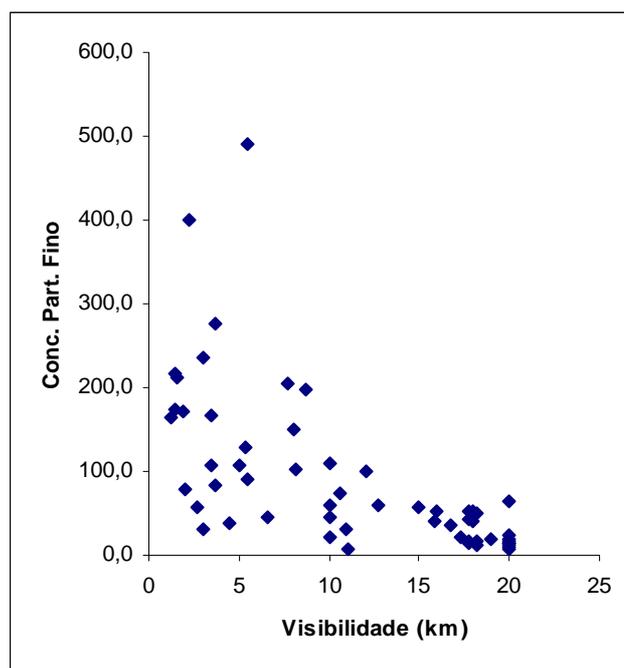


FIGURA 4.22 – Visibilidade e concentração de particulado fino para Alta Floresta em 1993 e 1994, 18h TMG, incluindo todos os dados.

Pode-se observar, como já mencionado no item 4.1.1 para profundidade óptica, que a distribuição dos valores de visibilidade ocorre ao longo de todo eixo de medidas, dentro do intervalo operacional, ou seja, de zero a vinte quilômetros. Este fato é significativo, tendo em vista que os valores de visibilidade apresentados nos diagramas, neste estudo, foram obtidos pelas médias geométricas dos valores registrados, em cada um dos horários das 15 e 18 horas TMG, dentro de cada período de amostragem, como mostram as tabelas no Apêndice E. Estas tabelas contêm todos os dados de particulado fino, visibilidade, e algumas observações julgadas importantes, como entupimento dos filtros durante o período de coleta de dados de concentração, referentes a Alta Floresta. Além disso, nelas destacam-se os registros que foram extraídos (“*outliers*”).

Segundo Riehl (1965), valores observados para visibilidade horizontal à superfície, na região tropical, estão associados às condições de instabilidade ou estabilidade atmosférica nos baixos níveis (ver item 2.2.1 desta dissertação). Dessa forma, registros que sugeriram instabilidade atmosférica por apresentarem total de nuvens cumuliformes, baixas e/ou médias, superior a 3 oitavos do céu inteiro, foram considerados “*outliers*”. Estes, somados às informações meteorológicas citadas na fase 5 do item 3.2.2, foram

extraídos dos conjuntos de dados estudados. Faz-se necessário esclarecer que os registros de concentração de particulado fino que têm, no campo de observações das tabelas do Apêndice E, o comentário “filtro entupido”, foram extraídos, também, para padronizar os conjuntos de dados. Deve-se lembrar que os estudos tratados neste trabalho estão baseados em dados empíricos.

Os valores dos coeficientes de determinação, “R²”, obtidos com os novos diagramas de dispersão, após a extração dos “outliers”, estão apresentados na Tabela 4.5.

TABELA 4.5 – Coeficientes de Determinação de Alta Floresta para os Dados de Visibilidade e Concentração de Particulado Fino.

Curva e		
R ²	15h (TMG)	18h (TMG)
Linear	Y = -7,99x + 160 R ² = 0,73	Y = -7,82x + 168 R ² = 0,74
Exponencial	Y = 203e ^{-0,14x} R ² = 0,79	226e ^{-0,13x} R ² = 0,78
Logarítmica	Y = -69lnx + 218 R² = 0,86	Y = -69lnx + 228 R² = 0,79
Potência	Y = 410.x ^{-1,05} R ² = 0,75	Y = 491. x ^{-1,07} R ² = 0,70

As curvas empíricas resultantes contendo dados de visibilidade (variável independente) e concentração de particulados fino (variável dependente) de Alta Floresta, dos períodos de julho a setembro de 1993 e 1994, estão apresentadas nas Figuras 4.23 e 4.24.

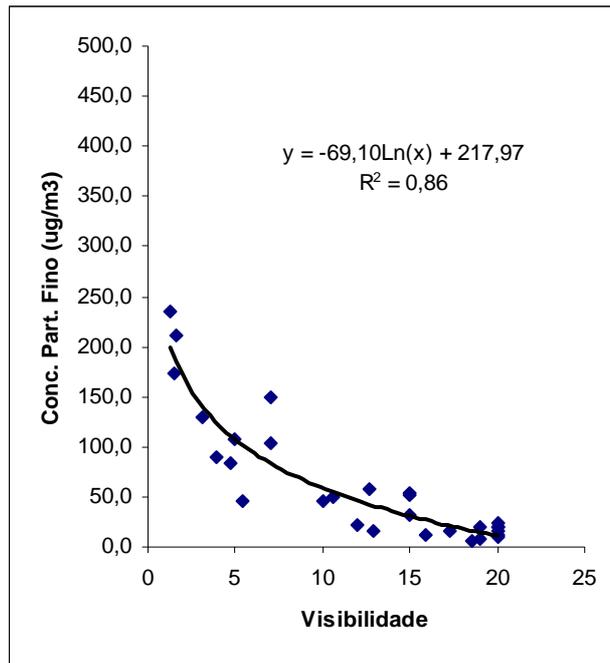


FIGURA 4.23 – Curva resultante com visibilidade e concentração de particulado fino de Alta Floresta em 1993 e 1994, 15h TMG, sem “outliers”.

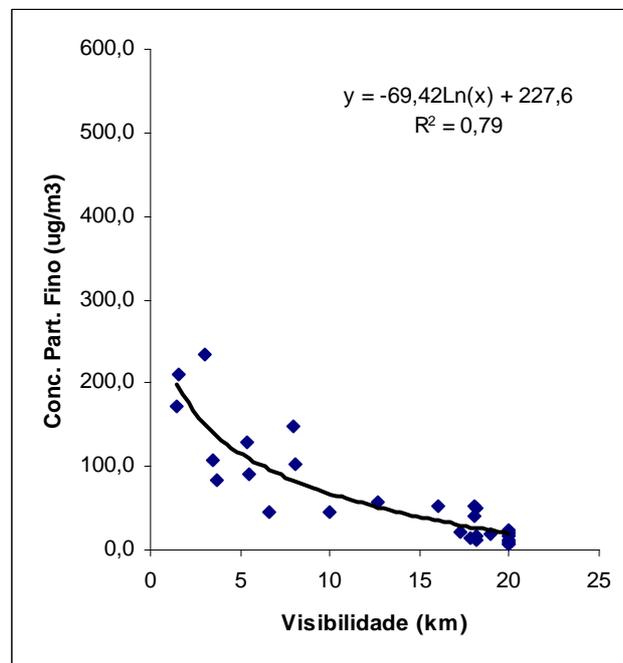


FIGURA 4.24 - Curva resultante da visibilidade e concentração de particulado fino de alta floresta em 1993 e 1994, 18h TMG, sem os “outliers”.

Apesar de as medidas de visibilidade e concentração de particulado fino serem feitas na superfície e da teoria da visibilidade de Koschmeider de 1925 (Middleton, 1952) sugerir que estas variáveis são simplesmente inversamente proporcionais, optou-se pela curva logarítmica. Afinal, Horvath e Trier (1993) mostraram que a distribuição espacial de aerossóis em Santiago, no Chile, não era uniforme, o que corresponde a dizer que medidas de visibilidade podem variar em relação ao azimute. Desta forma, optou-se, simplesmente, pelas curvas que melhor se ajustaram aos conjuntos de dados.

Os coeficientes de correlação calculados “r” entre visibilidade e concentração de particulado fino estão apresentados na Tabela 4.6.

TABELA 4.6 – Coeficientes de Correlação e Teste de Significância entre Visibilidade e Conc. de Particulado Fino d e Alta Floresta.

	18h	15h
r	-0,86	-0,85
Amostra	29	29
n-2	27	27
Teste t	8,75	8,38
t crítico	2,46	2,46

Os valores obtidos para o teste “t” de *Student*, comparados com o t crítico extraído da tabela de significância apresentada por Neto (1977), indicaram que a 99 % os coeficientes de correlação, para os dois horários estudados, são significativamente diferentes de zero, pois os valores de “t” são, pelo menos, duas vezes maiores que os de “t” crítico. Assim, pode-se afirmar que existe uma dependência linear significativa entre as variáveis.

4.2.2 – Resultados Obtidos para Cuiabá

Os diagramas de dispersão obtidos para Cuiabá contendo todos os dados de visibilidade horizontal e de concentração de particulado fino, dos anos de 1993 e 1994, referentes aos horários das 15 e 18 horas TMG, estão apresentados nas Figuras 4.25 e 4.26.

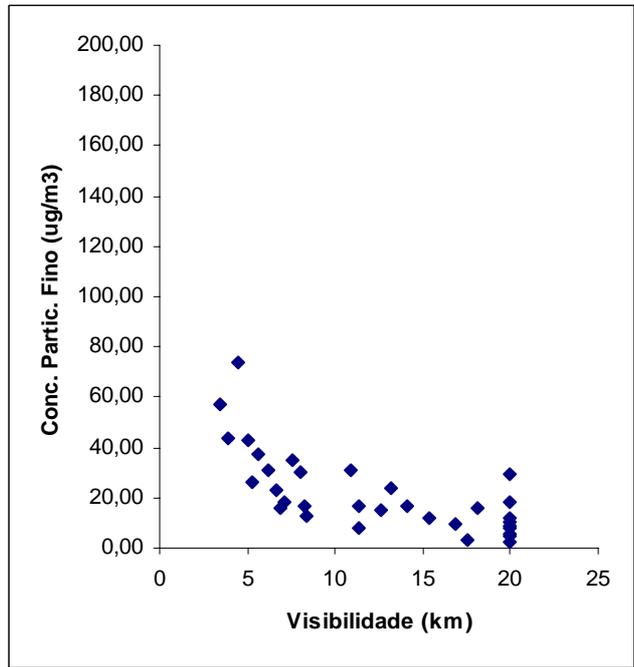


FIGURA 4.25 – Visibilidade e concentração de particulado fino para Cuiabá em 1993 e 1994, 15h TMG, incluindo todos os dados.

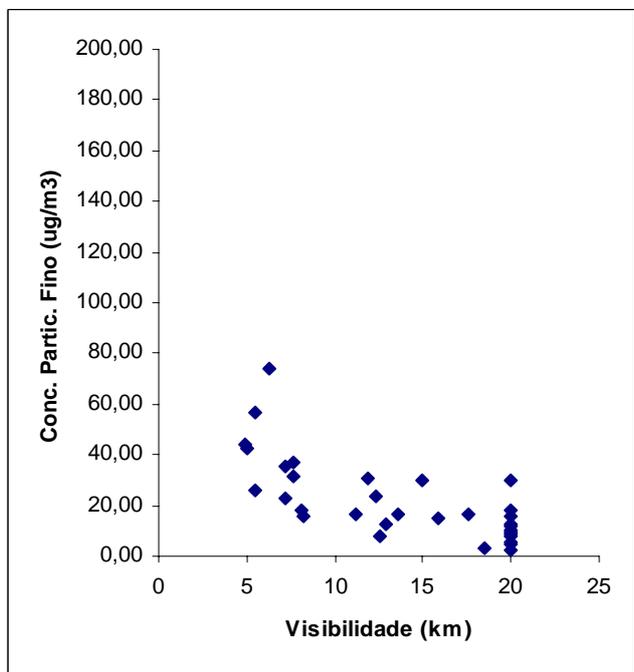


FIGURA 4.26 – Visibilidade e concentração de particulado fino para Cuiabá em 1993 e 1994, 18h TMG, incluindo todos os dados.

Observa-se que os valores de concentração de particulado fino à superfície para Cuiabá não ultrapassam $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto que, no mesmo período de estudo, para Alta Floresta o maior valor registrado foi de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tal fato demonstra diferença significativa na influência das queimadas sobre cada uma das localidades estudadas nesta dissertação. Tal diferença entre as concentrações máximas é da ordem de 250 %. Por outro lado, as variações dos valores de profundidade óptica de aerossóis, entre Alta Floresta e Cuiabá, não acompanharam tais proporções. Como já foi comentado, no item 4.1.1, teoricamente a distribuição vertical de aerossóis na atmosfera decai exponencialmente, proporcionando, assim, variações distintas na camada de mistura dos parâmetros medidos nas referidas localidades. Além disso, Cuiabá é mais afetada por particulado devido a queimadas em áreas distantes, ou seja, pelo transporte de emissões de áreas remota, enquanto Alta Floresta apresenta muitas queimadas locais. Outro fator importante, observado diretamente nos registros meteorológicos, foi a diferença entre os valores de umidade relativa das duas localidades. Em Cuiabá a umidade relativa, em média, é menor do que em Alta Floresta.

Os gráficos apresentados nas figuras 4.25 e 4.26 mostram registros de visibilidade entre 15 e 20 km, opondo-se àqueles apresentados nas figuras 4.11 e 4.12. Tal fato está relacionado ao método adotado para obtenção dos dados de visibilidade, o qual utiliza a média geométrica, abordado no item 4.2.

As tabelas contendo todos os dados de Cuiabá, inclusive os registros que foram selecionados como “*outliers*”, estão apresentadas no Apêndice E. Além disso, após a extração de tais registros, utilizando os mesmos critérios adotados no estudo de Alta Floresta, obtiveram-se os coeficientes de determinação “ R^2 ”, correspondentes a cada hipótese, que estão apresentados na Tabela 4.7.

TABELA 4.7 – Coeficientes de Determinação de Cuiabá para os Dados de Visibilidade e Conc. de Particulado Fino

Curva e R^2	15h (TMG)	18h (TMG)
Linear	$Y = -2,12x + 47,8$ $R^2 = 0,57$	$Y = -2,29x + 53,1$ $R^2 = 0,59$
Exponencial	$Y = 274e^{-1,21}$ $R^2 = 0,69$	$Y = 78e^{-0,12x}$ $R^2 = 0,66$
Logarítmica	$Y = 24,9\ln x + 80$ $R^2 = 0,68$	$Y = 27,7\ln x + 91$ $R^2 = 0,64$
Potência	$Y = 275.x^{-1,07}$ $R^2 = 0,71$	$Y = 451.x^{-1,33}$ $R^2 = 0,65$

Com os valores obtidos para o coeficiente de determinação “ R^2 ” de cada uma das curvas e as fundamentações teóricas realizadas no Capítulo 2, as curvas empíricas resultantes, contendo dados de visibilidade (variável independente) e concentração de particulado fino (variável dependente) para Cuiabá, dos períodos de julho a setembro de 1993 e 1994, estão apresentadas Figura 4.27 e 4.28.

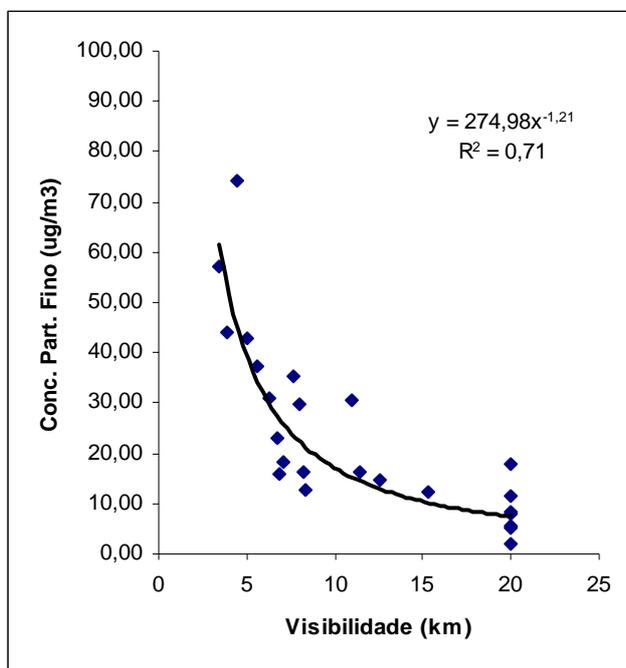


FIGURA 4.27 – Curva resultante com visibilidade e concentração de particulado fino de Cuiabá em 1993 e 1994, 15h TMG, sem “outliers”.

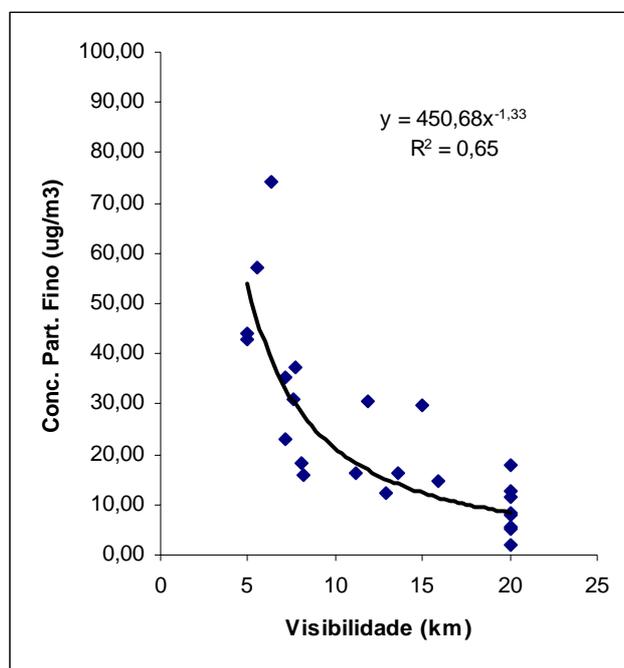


FIGURA 4.28 – Curva resultante com visibilidade e concentração de particulado fino de Cuiabá em 1993 e 1994, 18h TMG, sem “outliers”.

Mesmo com as pequenas diferenças entre os valores dos coeficientes de determinação obtidos para as hipóteses, a curva de potência foi escolhida, por estar de acordo com a teoria da visibilidade de Kochmeider de 1925 (Middleton, 1952), conforme o item 4.1.1.

A tabela 4.8 apresenta os resultados referentes ao teste “t” de significância, aplicado aos conjuntos de dados de visibilidade e concentração de particulado fino de Cuiabá.

TABELA 4.8 – Coeficientes De Correlação E Teste De Significância Entre Visibilidade E Conc. Particulado Fino De Cuiabá

	18h	15h
r	-0,77	-0,75
amostra	24	24
n-2	22	22
teste t	5,66	5,32
t crítico	2,51	2,51

Com os resultados mostrados na Tabela 4.8 pode-se afirmar que existe uma dependência linear significativa entre a visibilidade horizontal e a concentração de particulado fino à superfície em Cuiabá, no período de estudo, pois a 99 % os coeficientes de correlação “r” são significativamente diferentes de zero. Tais resultados foram encontrados comparando-se os valores de “t” calculado e “t” crítico que foi obtido com a tabela da distribuição “t” de *Student*, apresentada por Neto (1977).

4.3 – Relação Empírica entre Vibilidade e Registros de Focos de Queimadas na Área de Estudo

Os resultados alcançados pelas estimativas da relação empírica entre visibilidade nos aeródromos de Alta Floresta e Cuiabá às 18h TMG, e registros de focos de calor, obtidos com o sensor AVHRR, no período entre julho e agosto de 1993, estão expressos por curvas de tendência, ajustadas aos conjuntos de dados dispostos em diagramas de dispersão. Tais curvas resultaram das análises dos valores dos coeficientes de

determinação, obtidos para cada hipótese sugerida no item 3.2.3. Desta forma, a seguir apresentam-se os resultados alcançados para cada uma das localidades.

4.3.1 – Resultados Obtidos para Alta Floresta

A variação diária dos valores médios de visibilidade às 18h TMG, e do total de focos de calor, com intensidade classificada como “forte”, ver item 3.1.5 desta dissertação, estão representados na Figura 4.29.

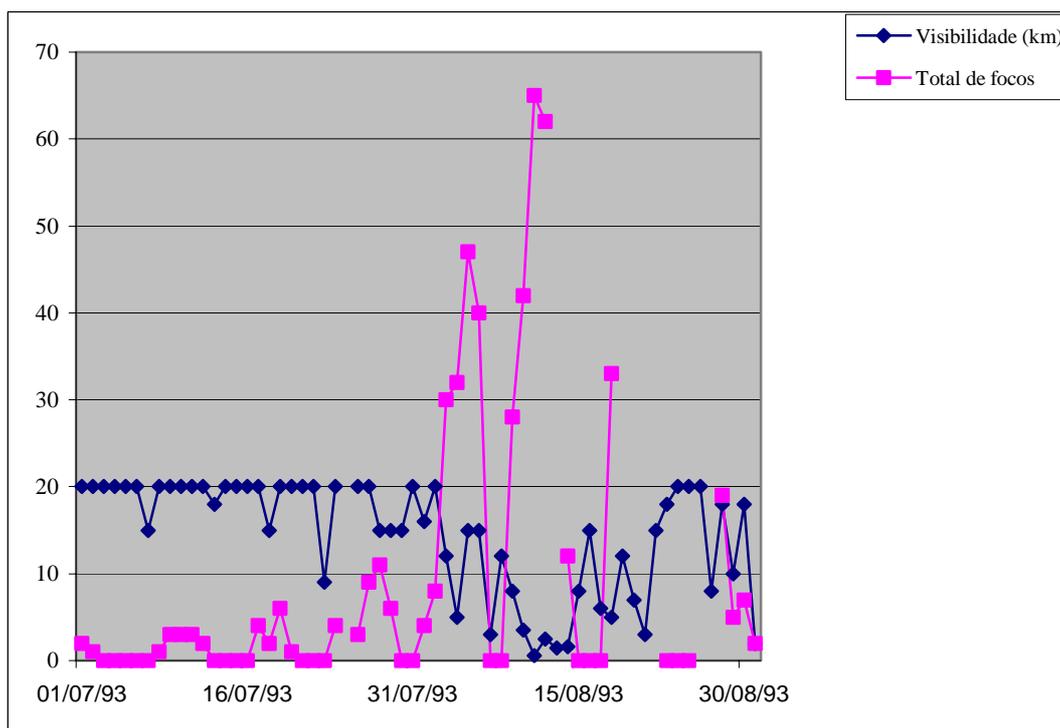


FIGURA 4.29 – Variação diária da visibilidade e do total de focos de calor para as 18h TMG, Julho e Agosto de 1993, Alta Floresta.

Observa-se que logo após um período em que ocorre aumento expressivo do número de focos de calor, por exemplo, de 09/08/1993 a 12/08/1993, há redução nos valores de visibilidade, como esperado. Porém, devido a ausências na cobertura dos registros de queimadas, a avaliação da seqüência temporal ficou comprometida. Além disso, alguns registros de focos apresentaram comportamentos opostos ao esperado, ou seja, sem a influência de qualquer fenômeno meteorológico significativo, como, por exemplo, ocorrência de precipitação, valores reduzidos de visibilidade foram associados a totais baixos de focos de calor. Seguindo a seqüência adotada para as relações anteriores, obteve-se o diagrama de dispersão mostrado na Figura 4.30.

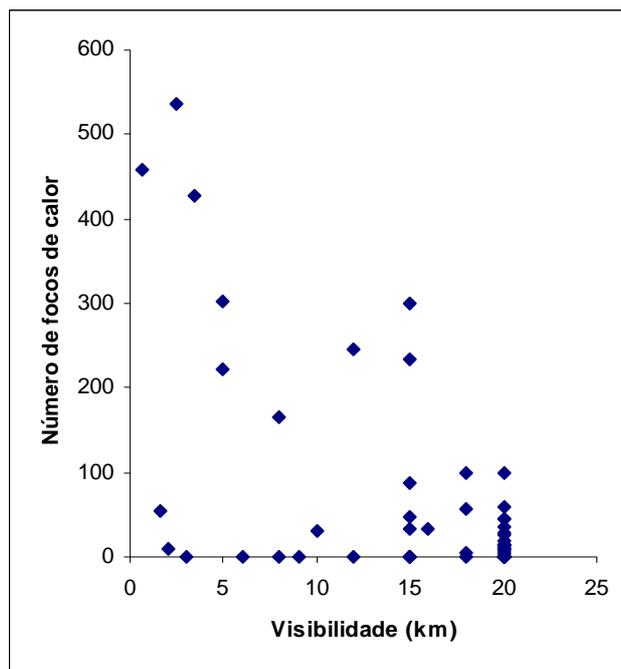


FIGURA 4.30 – Visibilidade e total diário de focos em Alta Floresta, 18h TMG julho e agosto de 1993, incluindo todos os dados.

Na Figura 4.30, observam-se baixos valores de visibilidade associados, como já mencionado, a valores nulos do total de focos de calor. Nestes casos, tais valores de totais de focos devem, possivelmente, estar relacionados ao campo de visão do satélite, que, segundo Pereira e Setzer (1986), fornece uma faixa de cobertura no terreno de 2400 km, e com o fato do número de órbitas diárias não ser inteiro, causando ausência de imageamento de algumas áreas, no período estudado. Contudo, atualmente a cobertura é completa. Desta forma, dados como estes foram classificados como duvidosos.

Conforme apresentado no item 2.6.1, segundo Horvath e Trier (1993), valores de umidade relativa superiores a 60% provocam mudanças físicas nos particulados suspensos nos baixos níveis da atmosfera, e, conseqüentemente, interferem na obtenção de valores do coeficiente de extinção da radiação óptica. Assim, os dados que apresentaram umidade acima de 60% foram selecionados como “*outliers*”. Além disso, como teste, os registros considerados duvidosos foram extraídos para obtenção das curvas de regressão. Uma tabela contendo todos os registros de visibilidade, total diário de focos na área de estudo, umidade relativa, e apontados os registros como duvidosos, está apresentada no Apêndice F.

Com a extração dos “*outliers*” e daqueles registros considerados duvidosos, obteve-se novo diagrama de dispersão. Foram ajustadas curvas de tendência para cada uma das

hipóteses sugeridas no item 3.2.3, das quais a curva que apresentou melhor coeficiente de determinação R^2 , juntamente com sua equação correspondente, está representada na Figura 4.31.

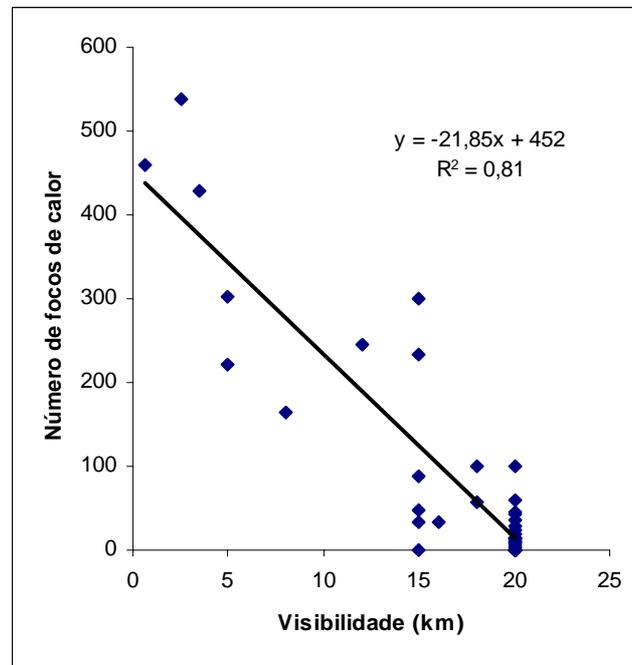


FIGURA 4.31 – Curva resultante da visibilidade e total diário de focos para Alta Floresta, 18h TMG, julho e agosto de 1993, sem os “outliers”.

Devido à falta de estudos envolvendo a relação empírica aqui sugerida e ao pequeno número de registros utilizados neste trabalho, a escolha da curva resultante foi baseada, apenas, nos valores alcançados para R^2 . Apesar de a expressão final mostrada na Figura 4.31 possuir sentido quantitativo limitado, algumas considerações são pertinentes como, por exemplo, a escolha do tamanho da área definida para contagem dos totais diários de focos de queimadas, pois tal área influencia diretamente a relação visibilidade x número de focos, e faz com que o registro de visibilidade passe a ser função, também, de outros parâmetros, como, por exemplo, a direção e a velocidade do vento. Neste caso, sugere-se, para se obter uma medida mais eficiente do grau de correlação entre as variáveis aqui raio efetivo para contagem de focos de, aproximadamente, 20 km ao redor da EMS, devido, principalmente, ao limite máximo operacional dos registros de visibilidade horizontal.

tratadas, um raio efetivo para contagem de focos de, aproximadamente, 20 km ao redor da EMS, devido, principalmente, ao limite máximo operacional dos registros de visibilidade horizontal.

4.3.2 – Resultados Obtidos para Cuiabá

Da mesma forma que para Alta Floresta apresenta-se, na Figura 4.32, a variação diária dos valores médios de visibilidade horizontal e do número total de focos de queimadas, com intensidade entre 5 e 9.

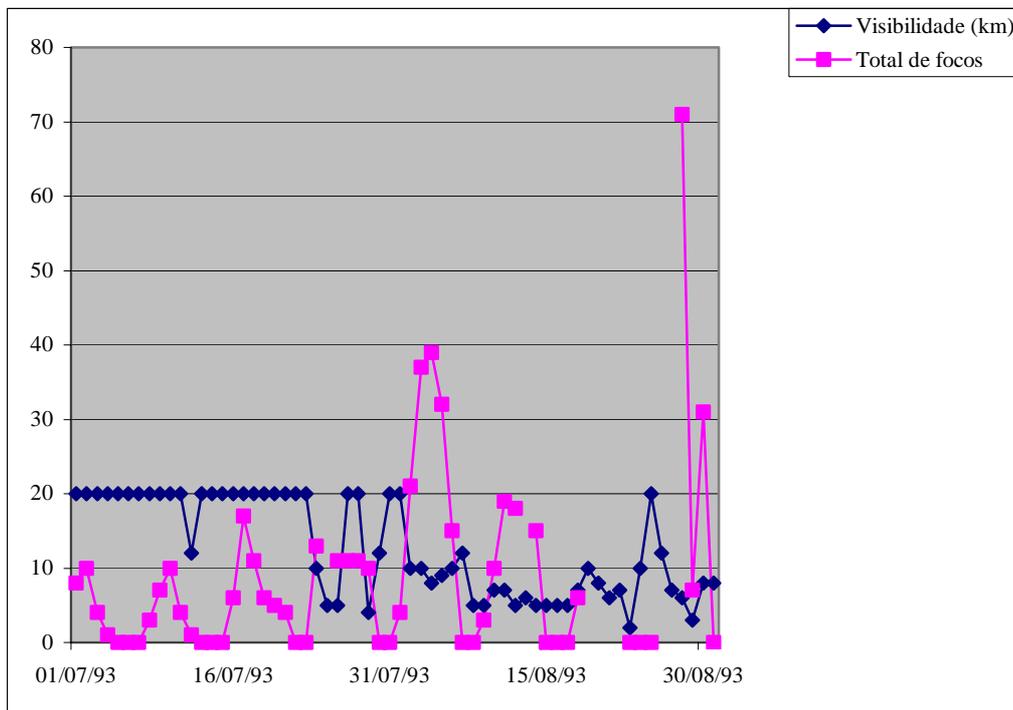


FIGURA. 4.32 – Variação diária da visibilidade e do total de focos de calor das 18h TMG, julho e agosto de 1993, para Cuiabá.

Como já era esperado, períodos que apresentam aumento expressivo do número de focos de calor estão associados a valores reduzidos de visibilidade. No entanto, assim como observado para Alta Floresta, a variação na localização da faixa de imageamento do satélite prejudicou a análise temporal dos conjuntos de dados. A seguir apresenta-se o diagrama de dispersão contendo os conjuntos de valores de visibilidade e total diário de focos, Figura 4.33.

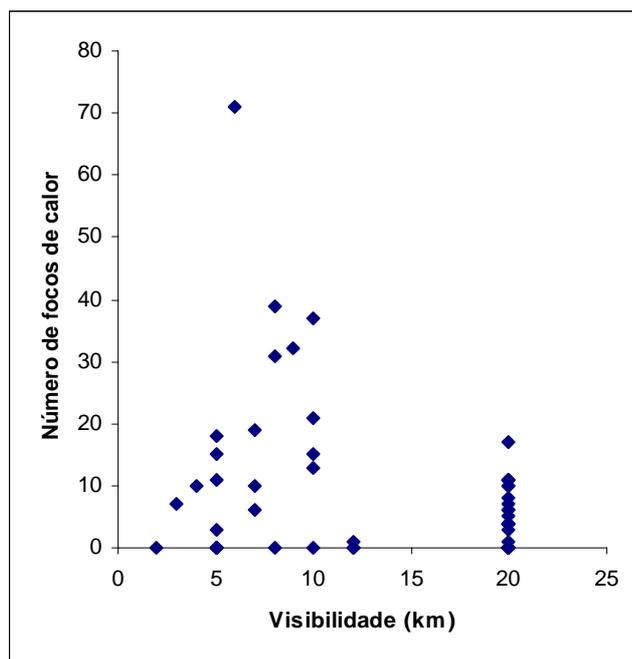


FIGURA 4.33 - Visibilidade e total diário de focos em Alta Floresta, julho e agosto de 1993, incluindo todos os dados.

Observa-se que a dispersão dos dados de Cuiabá é maior que a de Alta Floresta. Neste caso, fatores como a falta de referenciais na carta de visibilidade, condições orográficas, tipo de vegetação, e influências meteorológicas distintas, devido à posição geográfica, podem ter contribuído para esta diferença. Uma tabela contendo todos os registros de visibilidade, do total de focos de calor, umidade relativa e registros duvidosos, está apresentada no Apêndice F.

Após a extração dos dados selecionados como “*outliers*” e daqueles classificados como duvidosos, para efeito de teste, obteve-se o um novo diagrama de dispersão, a partir do qual foram ajustadas curvas de regressão para cada hipótese apresentada em 3.2.3. Desta forma, com base nos valores do coeficiente de determinação alcançados, obteve-se a curva resultante representada na Figura 4.34.

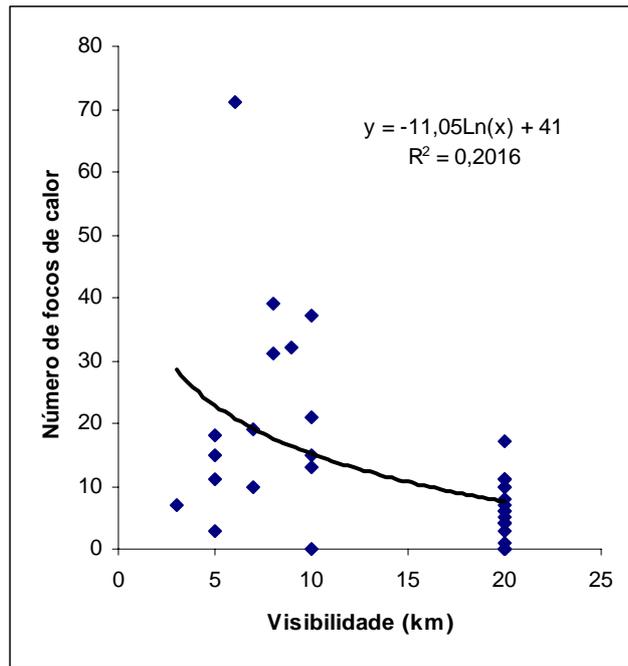


FIGURA 4.34 – Curva resultante da visibilidade e total diário de focos de calor para Cuiabá, 18h TMG, julho e agosto de 1993, sem os “outliers”.

Observa-se que a correlação para o conjunto de dados de Cuiabá não foi boa. No caso de Alta Floresta, apesar da boa correlação alcançada entre a curva ajustada e os dados, o resultado não é, quantitativamente, muito significativo. Porém, qualitativamente, tais resultados apontam para uma área de investigação pouco explorada. Assim, considerações como a já mencionada escolha do tamanho da área definida para contagem do total diário de focos, ou a influência de fatores meteorológicos associados à localização geográfica da área de interesse, devem ser estudadas, com uma base maior de dados. Além disso, deve-se reavaliar a escolha do AVHRR para este estudo.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este trabalho teve por objetivo estudar relações empíricas entre a visibilidade horizontal registrada nos aeródromos em Alta Floresta e Cuiabá MT, e dados de profundidade óptica de aerossóis, da concentração de particulado fino à superfície, e de ocorrências de queimadas na época de seca no Brasil central, nos anos de 1993 e 1994. Neste capítulo, apresentam-se as conclusões para cada uma das relações estudadas, e algumas sugestões para estudos futuros.

5.1 – Relação Empírica entre Visibilidade e Profundidade Óptica de Aerossóis

As equações que melhor descreveram esta relação estão apresentadas na Tabela 5.1.

TABELA 5.1 – Coeficientes de Determinação e Equações para Dados de Visibilidade e Profundidade Óptica.

Área de estudo	18h (TMG) (672nm)	18h (TMG) (441nm)	15h (TMG) (672nm)	15h(TMG) (441nm)
Alta Floresta	$Y = 2,6e^{-0,11x}$ $R^2 = 0,77$	$Y = 1,3e^{-0,10x}$ $R^2 = 0,74$	$Y = 1,6e^{-0,10x}$ $R^2 = 0,82$	$Y = 3,6e^{-0,11x}$ $R^2 = 0,75$
Cuiabá	$Y = 1,2e^{-0,10x}$ $R^2 = 0,74$	$Y = 2,5e^{-0,11x}$ $R^2 = 0,77$	$Y = 1,5e^{-0,10x}$ $R^2 = 0,71$	$Y = 3,1e^{-0,11x}$ $R^2 = 0,72$

Os coeficientes de determinação R^2 apresentados na Tabela 5.1 indicam que as curvas logarítmicas explicam, em média, mais de 70 % da variabilidade da profundidade óptica, ou seja, se fossem realizadas estimativas da mesma variável, em condições idênticas e nas mesmas localidades, mais 70 % dos valores estimados de profundidade óptica de aerossóis estariam situados sobre a curva exponencial. Além disso, em todos os casos as equações empíricas mostradas na Tabela 5.1 indicam, para estes conjuntos de dados, que o logaritmo natural da profundidade óptica é inversamente proporcional a visibilidade predominante nos aeródromos.

Os coeficientes de correlação “r” entre a visibilidade e a profundidade óptica de aerossóis estão apresentados na Tabela 5.2.

TABELA 5.2 – Coeficientes de Correlação para Dados de Visibilidade e Profundidade Óptica

Área de estudo	18h TMG (672nm)	18h TMG (441nm)	15h TMG (672nm)	15h TMG (441nm)
Alta Floresta	r = - 0,84	r = - 0,85	r = - 0,87	r = - 0,84
Cuiabá	r = - 0,73	r = - 0,77	r = - 0,78	r = - 0,78

Para as duas localidades, a 99 % os coeficientes de correlação “r” são significativamente diferentes de zero, ou seja, existe dependência linear significativa entre a visibilidade e a profundidade óptica de aerossóis. Porém, observa-se que as correlações são levementes mais expressivas em Alta Floresta do que em Cuiabá.

Para o caso de Alta Floresta, parametrizações da transmitância atmosférica de aerossóis como a de Ångström, apresentada no item 2.4 desta dissertação, devido aos baixos valores de visibilidade horizontal registrados, não devem ser utilizadas. Um fator importante, observado nos parâmetros de Cuiabá, foi a falta de registros de visibilidade entre 15 km e 20 km que deve estar relacionada, possivelmente, com ausência de referenciais posicionados neste intervalo, na carta de visibilidade.

Conclui-se, ainda, que o limite máximo operacional permitido de 20 km dos registros de visibilidade, provavelmente, interferiu nos resultados alcançados. O fato de as medidas de visibilidade horizontal e profundidade óptica de aerossóis serem feitas hipoteticamente em direções ortogonais, deve ter prejudicado o ajuste das curvas, pois as diferenças entre os valores de R^2 são pequenas, sugerindo baixo discernimento na escolha da curva preferencial. Além disso, dados de fotômetros solares apresentam ocasionalmente contaminação por nuvens como as do tipo cirrus, não filtradas por procedimentos automáticos.

5.2 – Relação Empírica entre Visibilidade e Concentração de Particulado Fino

As equações, juntamente com os valores dos coeficientes de determinação, que melhor descreveram esta relação para cada uma das localidades, estão apresentadas na Tabela 5.3.

TABELA 5.3 – Coeficientes de Determinação e Equações para Visibilidade e Concentração de Particulado Fino

Área de Estudo	15h (TMG)	18h (TMG)
Alta Floresta	$Y = -69\ln x + 218$ $R^2 = 0,86$	$Y = -69\ln x + 228$ $R^2 = 0,79$
Cuiabá	$Y = 275.x^{-1,07}$ $R^2 = 0,71$	$Y = 451.x^{-1,33}$ $R^2 = 0,65$

Os coeficientes de determinação R^2 , que representam as frações das variâncias explicadas, indicaram que mais de 65 % dos dados, sem “outliers”, em média, podem ser explicados pelas curvas logarítmica e de potência. Para o caso de Alta Floresta, em torno de 80 % dos pontos dos diagramas de dispersão são explicados pelas curvas logarítmicas. No entanto, a equação logarítmica resultante para Alta Floresta não coincide com a expectativa teórica, que indica uma curva de regressão resultante de potência com expoente unitário, conforme discutido em 4.2.1. Neste caso, foi observado que o fato de a distribuição da concentração de particulado à superfície e, conseqüentemente, da visibilidade horizontal, em azimute, ser heterogênea, pode ter prejudicado as análises para obtenção das curvas, tendo em vista que as diferenças entre os valores de R^2 são pequenas. Para os dados de Cuiabá, a equação de potência confirma a relação esperada, baseada na teoria da visibilidade de Koschmeider discutida por Middleton (1952), Horvath (1969) e (1993), conforme apresentado no item 2.6 desta dissertação.

A Tabela 5.4 apresenta os valores obtidos para coeficientes de correlação entre a visibilidade horizontal e a concentração de particulado fino à superfície em ambas as localidades.

TABELA 5.4 – Coeficientes de Correlação para Dados de Visibilidade e Conc. de Particulado Fino.

Área de estudo	18h (TMG)	15h (TMG)
Alta Floresta	r = - 0,86	r = - 0,85
Cuiabá	r = - 0,77	r = - 0,75

Os coeficientes de correlação “r” indicam que existe uma forte dependência linear entre visibilidade horizontal e concentração de particulado fino à superfície, para as duas localidades, com nível de significância de 99 %, obtido pela aplicação do teste estatístico de hipótese “t” de *Student*. Da mesma forma que nas relações apresentadas no item anterior, as correlações em Alta Floresta são mais significativas que em Cuiabá. Dessa forma, acredita-se que os efeitos da queima da biomassa em Alta Floresta interferem mais nos parâmetros ópticos da atmosfera à superfície que em Cuiabá.

5.3 – Relação Empírica entre Visibilidade e Registros de Focos de Queimadas

Nos estudos das relações empíricas entre visibilidade e número de focos de calor para a região de Alta Floresta obteve-se $R^2 = 0,81$ para curva de regressão linear, indicando boa representatividade dos dados. Porém, devido ao pequeno número de dados tratados deve-se lembrar que tal resultado não apresenta grande significância. No caso de Cuiabá, a curva de regressão linear foi a que melhor se ajustou, entretanto, com baixo coeficiente de determinação, $R^2 = 0,21$. Tal fato seu deu em função de não se dispor de coberturas diárias das áreas. Apesar dos resultados distintos entre as regressões das áreas estudadas, algumas considerações importantes devem ser feitas visando fomentar futuros estudos como, por exemplo, a escolha do tamanho da área de contagem dos totais de focos de calor, que deve ser feita considerando-se a influência do transporte de particulados de áreas remotas.

5.4 – Considerações Finais

Considera-se que o objetivo desta dissertação foi atingido, e as relações procuradas para visibilidade horizontal foram obtidas com relativo sucesso, apesar da simplicidade do método estatístico empregado. O trabalho é pioneiro no país, e possivelmente na literatura, abrindo perspectivas de usos das bases de dados de visibilidade, existentes há décadas, na investigação científica dos efeitos atmosféricos e climáticos das queimadas.

5.5 – Sugestões

Sugere-se que os estudos das relações empíricas entre visibilidade horizontal e as demais variáveis pesquisadas em regiões afetadas por queimadas, sejam estendidos a conjuntos de dados maiores, e que se procure associação com outros elementos meteorológicos representados, por exemplo, por cartas analisadas de superfície e altitude (850hPa e 700hPa), a fim de se obterem expressões que representem melhor as referidas relações. Assim, aplicações futuras de registros históricos de visibilidade poderão ser feitas para fomentarem investigações científicas diversas e modelos de correção atmosférica usados em sensoriamento remoto, e de transferência radiativa. Além disso, tais estudos poderão oferecer ferramentas para estimativas da variação temporal e espacial da concentração de particulado fino em áreas afetadas por queimadas. Sugere-se, ainda, que as investigações realizadas neste trabalho sejam repetidas para outros aeródromos que estejam localizados, também, em áreas afetadas pela queima da biomassa, com o objetivo de se poder estimar a visibilidade em áreas remotas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association for aerosol research –(AAAR). **Aerosol and visibility**.
Disponível em: < <http://www.aaar.org/99annmtg.htm> >. Acesso em: 10 out. 1999.
- Allard, D.; Tombach, I. The effects of non-standard conditions on visibility measurement. **Atmospheric Environment**, v. 15, n. 10/11, p. 1847-1857, 1981.
- Artaxo, P. N.; Orsini, C. Q.; Manfredo, H. T.; Boures, L. C.; Leslie, A.
Caracterizaçãodos aerossóis atmosféricos natural e de queimadas da Bacia Amazônica. **Academia Brasileira de Ciências**, v. 54, n.2, p. 299-314, 1982.
- Artaxo, P.; Gerab, F.; Yamasoe, M. A.; Martins, J. V. Fine mode aerosol composition at three long-term atmospheric monitoring sites in the Amazon Basin. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n. D11, p. 22857-22868, nov. 1994.
- Artaxo, P.; Setzer, A. W.; Nobre, C.; Kirchhoff, V.; Miguel, A. H. **Caracterização de gases e partículas de aerossóis da atmosfera Amazônica e relacionamento com processos de transporte e emissões de queimadas**. Relatório de atividades - Projeto FAPESP (nº90/2950-2), 4º ano, 1995.
- Blackwell, H. R. Contrast thresholds of the humam eye. **Journal of the Optical Society of America**, v. 36, n.11, p. 624-643, Nov. 1946.
- Chen, S. C.; Godoy, M. Jr; Herz, R. **Correção atmosférica através do método de subtração – aplicabilidade para analisar imagens da região amazônica**. São José dos Campos: INPE, 1995. 12p.. (INPE-5622-NTC/316)
- Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Vôo (DEPV). **Manual do Ministério da Aeronáutica**. Brasília: Operações das estações meteorológicas de superfície. jun. 1998. 53p. (MMA 105-4).
- Escola de Especialistas de Aeronáutica. (EEAr). **Curso de observadores meteorológicos**. Brasília: Observação meteorológica de superfície. jun. 1996. 82p.
- Fenn, R. W.; Shettle, E. P.; Hering, W. S.; Johnson, R. W. Atmospheric optical properties and meteorological conditions. **Atmospheric Environment**, v 15, n. 10/11 p. 1911-1918, 1981.

- Filippov, V. V. **Quality control procedures for meteorological data.** Genebra: Organização Meteorológica Mundial.: OMM, 1968.
- Freire, M. L. F. **Correção atmosférica em imagens LANDSAT contaminadas por efeito de adjacência.** Campina Grande. 97p. (DCA-CMM TD n. 05). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal da Paraíba, 1996.
- Friedlander, S. K. **Smoke, dust and haze: fundamentals of aerosol behavior.** New York.: John Wiley & Sons, 1977. 317p.
- Gambi, W.; Pereira, E. B.; Abreu, S. L.; Couto, P.; Colle, S. Influência da altitude e do tamanho das cidades nas previsões de radiação solar do modelo “IGMK” no Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica.** v. 16, n.1, p. 15-25, 1998.
- Gerab, F. **Técnicas analíticas nucleares aplicadas à média em larga escala de aerossóis atmosféricos na região amazônica.** São Paulo. 203p. (USP/IF/SBI-03). Tese (Doutorado em Física Nuclear) – Universidade de São Paulo, 1996.
- Gerber, H. E.; Hindman, E. E. **Light absorption by aerosol particles.** Virginia: Colorado State University, 1980. 420p.
- Giglio, L.; Kendall, J. D.; Justice, C. O. Evaluation of global fire detection algorithms using simulated AVHRR infrared data. **International Journal Remote Sensing,** v. 20, n. 10, p. 1947-1985, 1999.
- Hidy, G. M. **Aerosols: an industrial and environmental science.** Londres: Academic, cap. 1, p. 1-16, cap. 8, p. 479-579, 1984.
- Holben, B. N.; Eck, T. F.; Slutsker, I; Tanré, D.; Setzer, A.W.; Vermote, E; Buis, J. P. AERONET – a federated instrument network and data archive for aerosol characterization. **Remote Sensing of Environment,** v.66, n.1 – 16, 1998.
- Horvath, H. Atmospheric light absorption – a review. **Atmospheric Environment,** v. 27, n. 3, p.293-17, 1993.
- Horvath, H. Conference on visibility and fine particles in Vienna. **Atmospheric Environment,** v. 28, n. 5, p. 755-756, mar. 1994.
- Horvath, H.; Noll, K. E. The relationship between atmospheric light scattering

- coefficient and visibility. **Atmospheric Environment**, v.3, p. 3587-3594, 1969.
- Horvath, H.; Trier, A.. A study of the aerosol of Santiago de Chile – II. Mass extinction coefficient, visibilities and Angström exponents. **Atmospheric Environment**, v. 27, n. 3, p. 385-395, 1993a.
- Horvath, H.; Trier, A. A study of the aerosol of Santiago de Chile – I.Light extinction coefficients. **Atmospheric Environment**, v. 27, n. 3, p. 371-384, 1993b.
- Instituto Nacional de Meteorologia. (INMET); Laboratório de Energia Solar - LABSOLAR (UFSC). **Atlas de irradiação solar do Brasil**. Brasília, 1998.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE / Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. **Fumaça. Disponível em:** <<http://www.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 15 jul. 2001.
- Iqbal, M. **An introduction to solar radiation**. Londres: Academic, 1983. 390 p.
- Katsev, I. L.; Zege, E. P. The modern theory of black object visibility and range. **Atmospheric Environment**, v. 28, n. 5, p. 763-768, mar. 1994.
- Kaufman, Y. J.; Gitelson, A.; Karnieli, A.; Ganor, E.; Fraser, R. S.; Nakajima, T.; Mattoo, S.; Holben, B. N. Size distribution and scattering phase function of aerosol particles retrieved from sky brightness measurements. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n. D5, p 10341-10356, mai. 1994.
- Kaufman, Y. J.; Tanré, D. Strategy for direct and indirect methods for correcting the aerosol effect on remote sensing: from AVHRR to EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**. v. 55, n. 1, p 65-79, jan. 1996.
- Kocifaj, M. Solving the diffusion of solar radiation in the atmosphere and identifying the aerosol structure. **Atmospheric Environment**, v. 28, n.5, p. 777-784, Mar. 1994.
- Kunugi, M.; Mizoguchi, T.; Kanazawa, I.; Hirose, K.; Dokiya, Y.. Vertical distributions of suspended particles and their components as measured on a meteorological observation tower. **Atmospheric Environment**. v. 21, n. 4, p 917-927, 1987.
- Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York:

- John Wiley & Sons, cap. 1, p. 1-45, 1994.
- Liou, K. **An introduction to atmospheric radiation**. New York: Academic, 1980. 392p.
- McCartney, E. J. **Optics of the atmosphere: scattering by molecules and particles**. New York: John Wiley & Sons, 1976. 407 p.
- Middleton, W. E. K. **Vision through the atmosphere**. Toronto: University of Toronto Press, 1952. 250 p.
- National Research Laboratory (NRL). **Aerosol**. Disponível em:<
<http://www.nrlmry.navy.mil> >. Acesso em: 10 jun. 2001.
- Neto, P. L. O. C. **Estatística**. São Paulo: Câmara brasileira do livro, 1977. cap. 8, p. 178-222.
- Nilsson, B. A. Model of the relation between aerosol extinction and meteorological parameters. **Atmospheric Environment**, v.28, n. 5, p. 815-825, 1994.
- Encyclopaedia Britannica do Brasil Publicações LTDA. **Nova Enciclopédia Barsa**, São Paulo: Melhoramentos, 1998, v.6, p. 337.
- Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. 308 p.
- Organização de Aviação Civil Internacional (OACI). **Sevicio Meteorológico para la Navegación Aérea internacional..** Montreal, 1995. 89p. Anexo 3.
- Pereira, M. C.; Setzer, A. W. Detecção de queimadas e plumas de fumaça na Amazônia através de imagens dos satélites NOAA. In: Simpósio Latino - Americano de Sensoriamento Remoto. 8., Gramado. **Anais** São José dos Campos:INPE, 1986. v.1, p. 701-709.
- Pereira, E. B.; Setzer, A. W.; Gerab, F.; Artaxo, P. E.; Pereira, M. C.; Monroe, G.. Airbone measurements of aerosol from burning biomass in Brazil related to the TRACE. A experiment. **Journal of Geophysical Research**. v. 101, n. D19, p. 23,983-23,992, Oct. 30, 1996.

- Reeves, R. G. ed. **Manual of remote sensing**. Falls Church: American Society of Photogrammetry, v. 1, 1975. 867 p.
- Riehl, H. **Meteorologia tropical**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S. A., 1965. cap. 7.
- Sansigolo, C. **Teste estatístico de significância t de Student e propriedades da média Geométrica**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001). Comunicação pessoal.
- Seinfeld, J. H. **Atmospheric chemistry and physics of air pollution**. New York.: John Wiley & Sons. 1986. 738p.
- Setzer, A. W.; Pereira, M. C. Operational detection of fires in Brazil with NOAA/ AVHRR. In: International Symposium on remote sensing of environment, 24., Rio de Janeiro. **Proceedings**. Rio de Janeiro, ERIM, 1991b.
- Setzer, A. W; Pereira, M. C; Pereira, A. C. O. O uso de satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil. **Climanálise**, v. 7, n. 8, p. 41-53, ago. 1992.
- Shettle, E. P.; Fenn, R. W. **Models for the Aerosols of lower atmosphere and the effects of humidity variations on their optical properties**. Massachusetts: AFGL, 1979. 94p. (AFGL-TR-0214).
- Spiegel, M. R. **Estatística**. São Paulo: McGraw-Hill , 1985. 442p.
- Stephens, G. L. **Remote sensing of the lower atmosphere**. Oxford: Oxford University Press, 1994. cap. 1, cap. 6, p. 261-269.
- Steffen, C. A.; Moraes, E. C.; Gama, F. F. Radiometria óptica espectral. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996, p. 23.
- Tanré, D.; Holben, B. N.; Kaufman, Y. T. Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: Theory and Application. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, n. 2, p. 231-248, 1992.
- Twomey, S. **Atmospheric aerosols**. New York.: Elsevier Scientific. 1977. 320p.

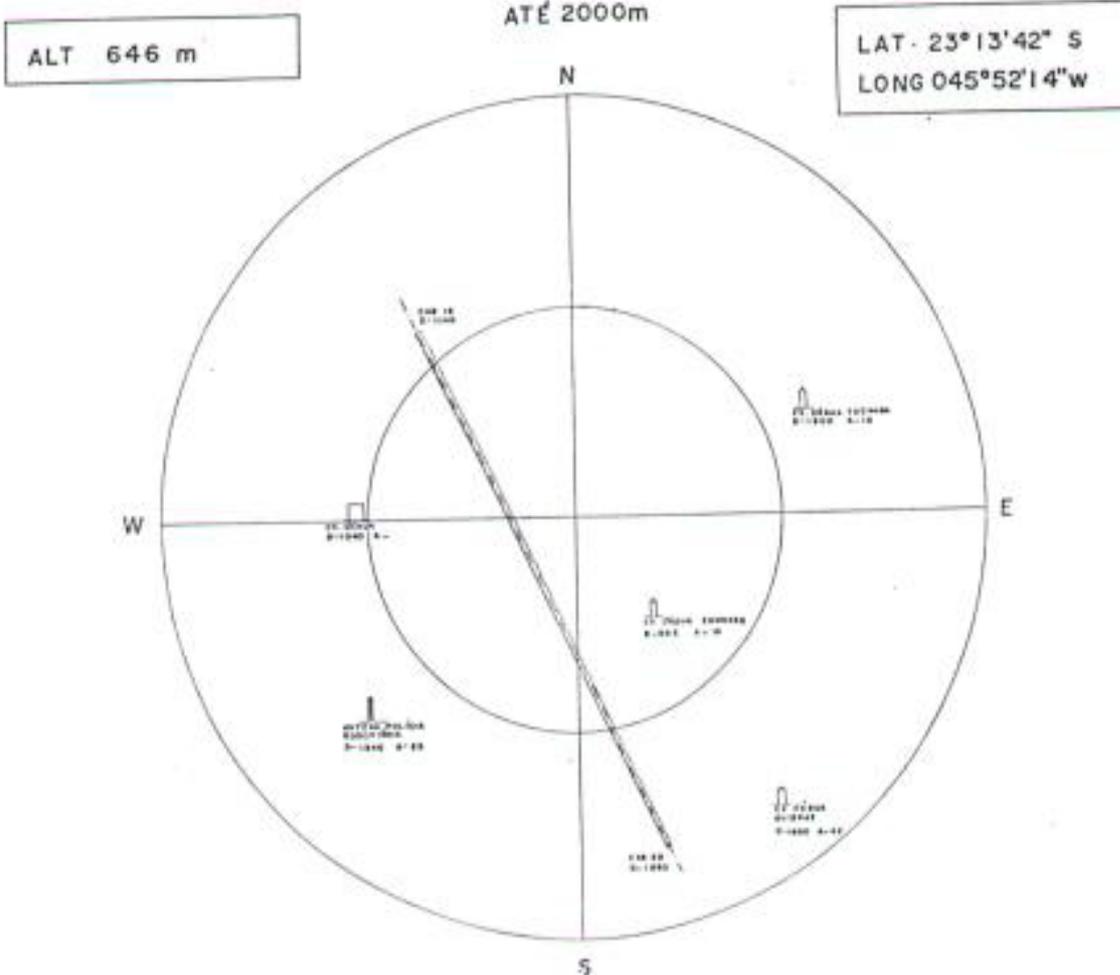
Vianello, R. L.; Alves, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária – UFV, 1991. p. 304.

Waugh, A E. **Elementos de estatística**. Rio de Janeiro: Globo, 1946. 489p.

APÊNDICE A

(CARTA DE VISIBILIDADE)

CARTA DE VISIBILIDADE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (SP)



APÊNDICE B

(AMOSTRADOR DE PARTICULADO)

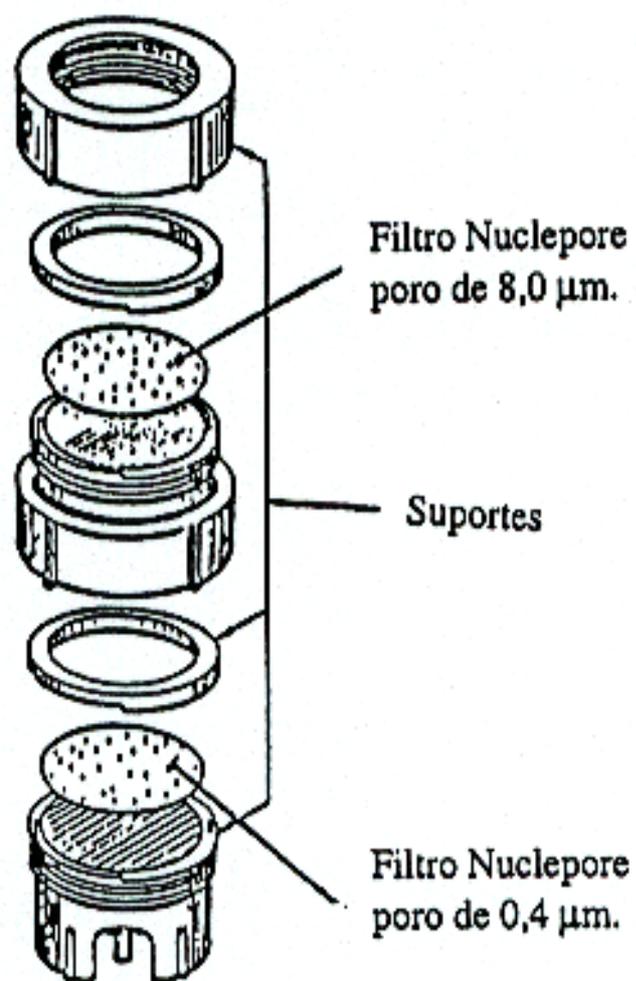


FIGURA B.1 – Amostrador de particulado fino e grosso.
FONTE: Gerab (1996).

APÊNDICE C

(ARQUIVO DE FOCOS DE QUEIMADAS)

ARQUIVO DE REGISTROS DE FOCOS DE CALOR (01-08-93)

DD 1 81993

Hemisfério	latitude	longitude	intensidade
------------	----------	-----------	-------------

S 8 755 60	→	S (Sul)	08° 07´	55° 06´	0
S 8 755 67					
S 8 755 70					
S 8 855 50					
S 94555 40					
S 94655 33					
S 94655 40					
S 94655 50					
S 94655 54					
S 94755 50					
S 94755 50					
S 94755 60					
S 94755 72					
S 95055390					
S 95055400					
S 95755 58					
S 95755 60					
S10 155517					
S10 155520					
S10 455530					
S10 455533					
S10 856110					
S101755120					
S101755120					
S101855120					
S101955 20					
S101955 20					
S105356500					
S105356500					
S105356500					
S105456507					
S105855360					
S105855370					
S13 155120					
S13 155120					
S131555490					
S131555490					
S131956240					
S132056230					

OBS: A intensidade do registro de foco de calor varia entre 0 (fraco) e 9 (forte).

APÊNDICE D

(TABELAS DE VISIBILIDADE E PROFUNDIDADE ÓPTICA)

Tabela com dados para o estudo da relação empírica entre visibilidade e profundidade óptica em Alta Floresta, 15h TMG, 1993 e 1994.

Date	Julian Day(integer)	Po(672)	Po(441)	vis(km)	UR %	Tot. Nuv.	Tot. Cirrus	Méd./Alt.
01/07/93	181	0,11	0,13	20	47		1	1
08/07/93	188	0,16	0,24	20	61		0	0
09/07/93	189	0,22	0,33	20	56		0	1
10/07/93	190	0,23	0,36	20	42		1	1
14/07/93	194	0,15	0,20	20	56		1	2
15/07/93	195	0,16	0,21	20	48		0	0
16/07/93	196	0,15	0,21	20	43		1	1
17/07/93	197	0,14	0,18	20	44		0	0
18/07/93	198	0,11	0,13	20	33		1	1
19/07/93	199	0,12	0,15	20	37		1	1
20/07/93	200	0,13	0,19	20	38		0	0
21/07/93	201	0,13	0,17	20	37		2	2
22/07/93	202	0,13	0,19	20	38		0	0
23/07/93	203	0,15	0,23	15	35		0	0
24/07/93	204	0,20	0,34	20	42		0	0
25/07/93	205	0,23	0,40	6	38		3	3
26/07/93	206	0,18	0,28	20	40		0	0
27/07/93	207	0,16	0,25	20	47		0	0
28/07/93	208	0,18	0,28	15	41		0	0
01/08/93	212	0,20	0,37	20	54		2	2
02/08/93	213	0,22	0,37	10	46		1	1
03/08/93	214	0,19	0,32	15	36		0	0
05/08/93	216	0,27	0,49	15	45		0	3
06/08/93	217	0,51	1,07	5	34		0	0
07/08/93	218	0,74	1,21	5	32		0	0
08/08/93	219	0,54	1,12	4	41		0	3
09/08/93	220	0,97	1,93	2,5	44		0	2
10/08/93	221	0,89	1,80	1,5	40		0	0
11/08/93	222	0,90	1,83	2,5	49		0	0
12/08/93	223	0,70	1,28	4	46		1	1
13/08/93	224	1,18	2,36	1,5	49		0	0
17/08/93	228	0,87	1,66	4	56		0	5
19/08/93	230	0,91	1,83	9	61		0	0
31/08/93	242	0,48	0,93	6	51		0	0
03/09/93	245	1,07	2,15	5	56		0	2
10/09/93	252	0,82	1,61	12	XX		2	2
17/09/93	259	0,68	1,37	10	55		0	1
22/09/93	264	0,27	0,46	20	53		1	2
03/07/94	183	0,11	0,26	20	55		1	2
04/07/94	184	0,14	0,30	20	46		1	1
05/07/94	185	0,13	0,28	20	53		1	1
06/07/94	186	0,16	0,34	20	53		1	2
07/07/94	187	0,13	0,29	20	47		1	2

continua

continua

08/07/94	188	0,16	0,32	20	49	0	3
12/07/94	192	0,16	0,33	20	42	1	1
13/07/94	193	0,16	0,32	20	49	0	0
14/07/94	194	0,16	0,32	20	51	0	1
15/07/94	195	0,17	0,35	20	49	0	1
16/07/94	196	0,20	0,41	X	X	X	X
17/07/94	197	0,18	0,38	20	42	0	0
18/07/94	198	0,20	0,41	20	45	0	2
19/07/94	199	0,23	0,46	15	42	0	3
25/07/94	205	0,30	0,59	15	50	0	1
27/07/94	207	0,36	0,81	10	43	0	1
28/07/94	208	0,30	0,59	20	38	1	1
29/07/94	209	0,47	1,06	20	44	0	0
31/07/94	211	0,29	0,61	15	36	1	1
02/08/94	213	0,36	0,78	8	37	3	3
03/08/94	214	0,37	0,81	20	43	0	0
04/08/94	215	0,51	1,07	10	56	1	1
08/08/94	219	0,62	1,30	6	45	0	0
09/08/94	220	0,61	1,29	5	49	1	3
10/08/94	221	0,85	1,79	3	52	0	1
12/08/94	223	0,88	1,91	8	54	0	0
13/08/94	224	1,10	2,32	1,6	50	0	0
15/08/94	226	1,13	2,43	1	31	0	0
16/08/94	227	1,10	2,38	1,6	39	0	0
18/08/94	229	0,68	1,55	1,5	39	0	0
20/08/94	231	1,87	3,83	0,3	42	0	0
21/08/94	232	1,03	2,27	1	36	0	0
23/08/94	234	1,42	2,72	0,8	33	0	0
24/08/94	235	0,92	1,98	1	31	0	0
25/08/94	236	1,43	3,06	0,8	43	0	0
28/08/94	239	0,62	1,26	2,5	59	0	1
29/08/94	240	0,87	1,79	2,5	56	0	0
30/08/94	241	1,41	2,41	3	58	3	3
31/08/94	242	1,41	1,97	12	61	0	5
01/09/94	243	0,50	1,04	3	47	2	3
02/09/94	244	1,03	2,12	1,6	52	0	0
04/09/94	246	1,33	2,47	5	57	0	0
05/09/94	247	1,00	1,83	3	63	0	3
06/09/94	248	0,89	1,49	3	59	0	1
08/09/94	250	1,14	1,91	8	57	0	2
12/09/94	254	0,44	0,91	20	56	2	3
13/09/94	255	0,57	1,21	15	59	0	2
14/09/94	256	0,55	1,18	5	60	0	2
17/09/94	259	0,73	1,53	12	59	1	2
18/09/94	260	1,04	1,95	12	60	1	2
20/09/94	262	0,74	1,54	7	60	0	0

continua

conclusão

22/09/94	264	0,73	1,61	5	57	0	0
23/09/94	265	1,16	2,44	3	58	0	0
24/09/94	266	0,72	1,47	5	54	0	1
25/09/94	267	1,13	2,25	4,5	54	3	4

Tabela com dados para o estudo da relação empírica entre visibilidade e profundidade óptica em Cuiabá, 15h TMG, 1993 e 1994.

Date	Julian Day(integ er)	Po(672)	Po(441)	Vis (km)	UR %	Tot. Nuv.	Tot. Cirrus	Méd./Alt.
01/07/93	181	0,17	0,29	20	34		3	0
02/07/93	182	0,10	0,15	20	35		0	0
03/07/93	183	0,10	0,13	20	41		0	0
04/07/93	184	0,14	0,21	20	41		0	0
06/07/93	186	0,21	0,36	20	39		0	1
10/07/93	190	0,23	0,40	20	39		0	0
11/07/93	190	0,16	0,26	20	37		0	0
14/07/93	194	0,14	0,24	20	43		0	1
15/07/93	195	0,17	0,28	20	58		3	0
16/07/93	196	0,24	0,43	20	47		0	0
17/07/93	197	0,29	0,50	20	48		3	0
20/07/93	200	0,17	0,27	20	35		0	0
21/07/93	201	0,23	0,44	20	37		0	1
23/07/93	203	0,20	0,36	20	43		0	2
24/07/93	204	0,26	0,50	10	42		0	0
25/07/93	205	0,41	0,82	5	59		0	0
04/08/93	215	0,312	0,57	6	40		0	0
05/08/93	216	0,22	0,36	6	29		0	0
07/08/93	218	0,24	0,44	8	25		0	0
09/08/93	220	1,32	2,68	4	62		0	0
11/08/93	222	0,57	1,12	7	40		0	0
15/08/93	226	1,03	2,07	5	32		0	0
20/08/93	231	0,68	1,29	7	51		0	0
26/08/93	237	0,47	0,90	10	45		0	0
28/08/93	239	0,73	1,53	6	48		0	0
29/08/93	240	1,25	2,61	3	47		0	0
31/08/93	242	0,51	1,03	7	43		0	5
01/09/93	243	0,82	1,63	8	56		0	0
02/09/93	244	0,90	1,81	7	56		0	0
03/09/93	245	0,93	1,92	8	55		0	0
04/09/93	246	0,94	1,92	6	53		0	0
05/09/93	247	0,83	1,54	4	50		3	0
06/09/93	248	1,20	2,34	3	44		3	0
13/09/93	255	0,80	1,40	6	49		3	0

continua

conclusão

14/09/93	256	1,17	2,18	6	43	2	0
17/09/93	259	0,42	0,84	5	42	0	1
01/07/94	181	1,01	0,84	20	45	0	0
09/07/94	189	1,26	1,01	20	44	0	4
12/07/94	192	1,22	1,00	20	38	0	0
13/07/94	193	1,22	0,97	20	40	0	0
16/07/94	196	1,30	0,96	20	35	0	0
17/07/94	197	1,32	0,97	20	39	0	0
18/07/94	198	1,38	1,05	20	33	0	0
19/07/94	199	1,38	1,00	20	33	0	0
20/07/94	200	1,40	1,06	20	34	0	0
21/07/94	201	1,42	1,08	20	40	0	0
26/07/94	206	1,45	1,14	20	52	0	0
27/07/94	207	1,44	1,15	20	38	0	2
30/07/94	210	1,49	1,36	7	41	0	0
31/07/94	211	1,42	1,19	20	40	0	0
01/08/94	212	1,47	1,22	20	32	0	0
04/08/94	215	1,40	1,24	20	40	0	0
05/08/94	216	1,41	1,30	20	39	0	0
06/08/94	217	1,56	1,69	5	40	0	0
07/08/94	218	1,40	1,40	20	52	0	0
08/08/94	219	1,45	1,53	12	32	0	0
16/08/94	227	0,33	0,67	20	45	0	0
18/08/94	229	0,22	0,45	7	46	0	0
20/08/94	231	0,34	0,72	8	28	0	0
26/08/94	237	0,85	1,76	3	31	0	0
29/08/94	240	0,58	1,18	5	34	0	0
04/09/94	246	0,65	1,25	20	39	0	0
05/09/94	247	0,59	1,11	6	33	0	0
06/09/94	248	0,68	1,30	6	40	0	0
10/09/94	252	0,84	1,46	10	44	0	0
17/09/94	259	0,77	1,53	7	48	0	0
18/09/94	260	0,73	1,52	7	48	0	0
19/09/94	261	0,95	1,90	7	33	0	0
20/09/94	262	0,93	1,92	4	39	3	0
21/09/94	263	0,73	1,53	5	30	3	0
22/09/94	264	0,56	1,18	4	29	0	4
23/09/94	265	0,91	1,93	4	25	0	0

Tabela com dados para o estudo da relação empírica entre visibilidade e profundidade óptica em Cuiabá, 18h TMG, 1993 e 1994.

Date	Julian Day(integer)	Po(672)	Po(441)	Vis (km)	UR %	Tot. Nuv.	Tot. Cirrus	Méd./Alt.
01/07/93	181	0,19	0,32	20	32		0	0
02/07/93	182	0,13	0,21	20	33		0	0
03/07/93	183	0,15	0,22	20	27		0	0
04/07/93	184	0,20	0,33	20	31		0	1
05/07/93	185	0,18	0,29	20	27		0	0
06/07/93	186	0,27	0,46	20	56		0	2
10/07/93	190	0,23	0,37	20	29		0	0
15/07/93	195	0,22	0,35	20	46		0	0
16/07/93	196	0,28	0,47	20	58		0	0
17/07/93	197	0,23	0,37	20	39		0	2
20/07/93	200	0,18	0,29	20	33		0	1
21/07/93	201	0,22	0,39	20	25		0	2
22/07/93	202	0,19	0,31	20	26		0	0
24/07/93	204	0,32	0,61	10	27		0	0
25/07/93	205	0,70	1,12	5	39		0	0
26/07/93	206	0,56	0,98	5	28		3	0
02/08/93	213	0,32	0,56	10	31		3	0
04/08/93	215	0,45	0,82	8	32		0	0
05/08/93	216	0,30	0,54	9	18		0	0
06/08/93	217	0,29	0,51	10	19		0	0
07/08/93	218	0,63	1,39	12	19		0	0
08/08/93	219	1,08	2,33	5	30		0	1
09/08/93	220	1,55	2,90	5	47		0	0
11/08/93	222	0,68	1,33	7	37		0	0
20/08/93	231	0,72	1,35	8	39		0	0
21/08/93	232	1,08	2,05	6	41		0	1
24/08/93	235	1,66	2,16	10	56		2	0
01/09/93	243	0,94	1,89	8	47		0	0
02/09/93	244	1,11	2,25	8	42		0	0
05/09/93	247	0,89	1,79	4	35		0	0
06/09/93	248	1,65	3,24	4	36		3	0
13/09/93	255	0,77	1,53	8	34		3	0
17/09/93	259	0,57	1,18	9	31		3	0
19/09/93	261	0,88	1,64	8	32		0	3
20/09/93	262	0,61	1,13	8	34		0	3
22/09/93	264	0,57	1,13	7	31		0	3
01/07/94	181	1,01	0,86	20	41		0	2
06/07/94	186	1,19	1,01	20	58		3	0
09/07/94	189	1,26	1,01	20	50		0	4
11/07/94	191	1,27	1,05	20	38		0	0
12/07/94	192	1,26	1,06	20	31		0	0
13/07/94	193	1,26	1,012	20	27		0	0
16/07/94	196	1,33	1,057	20	29		3	0

continua

							conclusão	
17/07/94	197	1,36	1,04	20	28	0	0	
18/07/94	198	1,35	1,02	20	23	0	0	
19/07/94	199	1,39	1,05	20	24	0	0	
20/07/94	200	1,37	1,04	20	26	0	4	
25/07/94	205	1,46	1,12	20	49	0	3	
27/07/94	207	1,50	1,20	20	33	0	3	
30/07/94	210	1,62	1,57	8	30	0	0	
31/07/94	211	1,41	1,15	20	36	0	0	
02/08/94	213	1,60	1,67	12	37	0	3	
04/08/94	215	1,46	1,34	20	42	0	0	
05/08/94	216	1,46	1,39	20	29	0	0	
06/08/94	217	1,67	1,91	10	34	0	0	
07/08/94	218	1,41	1,41	20	25	0	0	
08/08/94	219	1,51	1,66	12	28	0	1	
04/09/94	246	0,82	1,56	20	28	0	0	
09/09/94	251	0,63	1,18	10	29	0	0	

APÊNDICE E

(TABELAS DE VISIBILIDADE E CONCENTRAÇÃO DE AEROSSÓIS)

Tabela contendo dados da média geométrica da visibilidade (vismg) e da concentração de particulado fino à superfície às 15h TMG em Alta Floresta

INÍCIO	HORA	FIM	HORA	Fino	Vismg15	Obs.
28/Jun/93	14:40	01/Jul/93	14:59	14,7		
01/Jul/93	14:40	05/Jul/93	14:00	7,0	18,6	
05/Jul/93	14:00	07/Jul/93	14:00	16,9	17,3	
07/Jul/93	14:00	13/Jul/93	15:00	19,9	19	
13/Jul/93	15:00	16/Jul/93	10:00	13,5	20	Filtro entupido
16/Jul/93	10:00	26/Jul/93	14:30	17,3	17,5	Filtro entupido
26/Jul/93	14:30	02/Ago/93	15:30	36,8	13,2	Filtro entupido
02/Ago/93	15:30	05/Ago/93	15:00	73,9	13,9	Filtro entupido
05/Ago/93	15:00	11/Ago/93	14:30	129,3	3,1	
11/Ago/93	14:30	16/Ago/93	16:30	276,5	3,3	Filtro entupido
16/Ago/93	16:30	18/Ago/93	14:00	490,9	4,5	Filtro entupido
18/Ago/93	14:00	20/Ago/93	09:40	204,5	5,2	Filtro entupido
20/Ago/93	09:40	23/Ago/93	16:00	198,0	7,8	Filtro entupido
23/Ago/93	16:00	25/Ago/93	14:00	19,3	20	
25/Ago/93	14:00	27/Ago/93	15:30	63,6	15,5	Filtro entupido
27/Ago/93	16:00	28/Ago/93	09:25	239,6		
28/Ago/93	11:37	29/Ago/93	10:50	41,0		
29/Ago/93	10:52	30/Ago/93	07:58	60,5	18	Filtro entupido
30/Ago/93	08:00	31/Ago/93	10:11	53,2	15	
31/Ago/93	10:28	31/Ago/93	18:10	79,4	6	Filtro entupido
31/Ago/93	18:15	01/Set/93	09:45	110,8		Filtro entupido
01/Set/93	09:45	01/Set/93	18:10	45,2	10	
01/Set/93	18:15	02/Set/93	09:37	106,3		Filtro entupido
02/Set/93	09:37	02/Set/93	17:23	52,4	15	
02/Set/93	17:27	03/Set/93	09:10	73,5		Filtro entupido
03/Set/93	09:20	03/Set/93	18:10	107,6	5	
03/Set/93	18:15	04/Set/93	10:45	144,0		
04/Set/93	10:00	04/Set/93	16:35	148,9	7	
04/Set/93	16:55	05/Set/93	10:00	135,3		Filtro entupido
05/Set/93	10:10	06/Set/93	10:30	100,7	6	Filtro entupido
06/Set/93	10:30	06/Set/93	17:45	31,8	15	
06/Set/93	17:50	07/Set/93	09:25	35,6		
07/Set/93	09:30	07/Set/93	17:10	23,8	20	
07/Set/93	17:15	08/Set/93	16:45	48,5		
08/Set/93	10:12	08/Set/93	16:45	10,3	20	
08/Set/93	17:50	09/Set/93	10:30	25,5		
09/Set/93	10:40	10/Set/93	11:00	21,9	12	
10/Set/93	11:00	11/Set/93	10:19	57,9	12	Filtro entupido
11/Set/93	10:20	12/Set/93	09:50	53,0	14	Filtro entupido
12/Set/93	10:00	16/Set/93	16:00	40,5	10,4	Filtro entupido
16/Set/93	16:00	23/Set/93	16:00	43,2	17,6	Filtro entupido
23/Set/93	16:00	04/Out/93	16:30	32,7		Filtro entupido
27/Jun/94	16:54	04/Jul/94	12:45	15,7	20	

continua

conclusão

04/Jul/94	12:45	10/Jul/94	14:11	7,7	19	
10/Jul/94	14:11	12/Jul/94	10:23	11,6	20	
12/Jul/94	10:23	19/Jul/94	14:40	13,9	19,2	Filtro entupido
19/Jul/94	10:40	22/Jul/94	15:48	11,4	15,9	
22/Jul/94	15:48	27/Jul/94	15:20	15,2	12,9	
27/Jul/94	15:20	29/Jul/94	15:34	20,3	20	
29/Jul/94	15:20	01/Ago/94	15:45	50,2	10,6	
01/Ago/94	15:45	08/Ago/94	15:41	102,9	7	
08/Ago/94	15:41	11/Ago/94	07:02	90,3	3,9	
11/Ago/94	07:02	15/Ago/94	15:05	57,6	2,8	
15/Ago/94	11:05	17/Ago/94	11:00	211,4	1,6	
17/Ago/94	11:00	19/Ago/94	11:00	172,9	1,5	
19/Ago/94	11:00	20/Ago/94	08:00	235,2	1,3	
20/Ago/94	08:00	22/Ago/94	14:35	172,0	0,7	Filtro entupido
22/Ago/94	14:35	24/Ago/94	10:48	215,9	0,8	Filtro entupido
24/Ago/94	10:48	25/Ago/94	11:05	165,1	0,9	Filtro entupido
25/Ago/94	11:05	28/Ago/94	15:42	399,3	1,8	Filtro entupido
28/Ago/94	15:42	29/Ago/94	14:32	166,0	2,5	Filtro entupido
31/Ago/94	16:08	05/Set/94	16:00	39,2	2,9	Filtro entupido
05/Set/94	16:00	09/Set/94	16:00	106,4	4,3	Filtro entupido
09/Set/94	16:00	19/Set/94	15:09	109,1	7,1	Chuva/trovoada
19/Set/94	15:09	23/Set/94	14:28	45,3	5,4	
23/Set/94	14:28	26/Set/94	09:36	84,0	4,7	
26/Set/94	09:36	28/Set/94	08:55	58,5	12,7	

Tabela contendo dados da média geométrica da visibilidade (vismg) e da concentração de particulado fino à superfície às 18h TMG em Alta Floresta

INÍCIO		FIM		Fino	Vismg18	Obs.
28/Jun/93	14:40	01/Jul/93	14:59	14,7		
01/Jul/93	14:40	05/Jul/93	14:00	7,0	20	
05/Jul/93	14:00	07/Jul/93	14:00	16,9	18,2	
07/Jul/93	14:00	13/Jul/93	15:00	19,9	19	
13/Jul/93	15:00	16/Jul/93	10:00	13,5	20	Filtro entupido
16/Jul/93	10:00	26/Jul/93	14:30	17,3	17,7	Filtro entupido
26/Jul/93	14:30	02/Ago/93	15:30	36,8	16,7	Filtro entupido
02/Ago/93	15:30	05/Ago/93	15:00	73,9	10,6	Filtro entupido
05/Ago/93	15:00	11/Ago/93	14:30	129,3	5,4	
11/Ago/93	14:30	16/Ago/93	16:30	276,5	3,7	Filtro entupido
16/Ago/93	16:30	18/Ago/93	14:00	490,9	5,5	Filtro entupido
18/Ago/93	14:00	20/Ago/93	09:40	204,5	7,7	Filtro entupido
20/Ago/93	09:40	23/Ago/93	16:00	198,0	8,7	Filtro entupido
23/Ago/93	16:00	25/Ago/93	14:00	19,3	20	

continua

continua

25/Ago/93	14:00	27/Ago/93	15:30	63,6	20	Filtro entupido
27/Ago/93	16:00	28/Ago/93	09:25	239,6		
28/Ago/93	11:37	29/Ago/93	10:50	41,0	18	Filtro entupido
29/Ago/93	10:52	30/Ago/93	07:58	60,5	10	
30/Ago/93	08:00	31/Ago/93	10:11	53,2	18	Filtro entupido
31/Ago/93	10:28	31/Ago/93	18:10	79,4	2	
31/Ago/93	18:15	01/Set/93	09:45	110,8		Filtro entupido
01/Set/93	09:45	01/Set/93	18:10	45,2	10	Filtro entupido
01/Set/93	18:15	02/Set/93	09:37	106,3		Filtro entupido
02/Set/93	09:37	02/Set/93	17:23	52,4	16	Filtro entupido
02/Set/93	17:27	03/Set/93	09:10	73,5		
03/Set/93	09:20	03/Set/93	18:10	107,6	3,5	Filtro entupido
03/Set/93	18:15	04/Set/93	10:45	144,0		
04/Set/93	10:00	04/Set/93	16:35	148,9	8	Filtro entupido
04/Set/93	16:55	05/Set/93	10:00	135,3		
05/Set/93	10:10	06/Set/93	10:30	100,7	12	Filtro entupido
06/Set/93	10:30	06/Set/93	17:45	31,8	3	Chuva
06/Set/93	17:50	07/Set/93	09:25	35,6		Filtro entupido
07/Set/93	09:30	07/Set/93	17:10	23,8	20	
07/Set/93	17:15	08/Set/93	16:45	48,5		Filtro entupido
08/Set/93	10:12	08/Set/93	16:45	10,3	20	
08/Set/93	17:50	09/Set/93	10:30	25,5		Filtro entupido
09/Set/93	10:40	10/Set/93	11:00	21,9	10	
10/Set/93	11:00	11/Set/93	10:19	57,9	15	Filtro entupido
11/Set/93	10:20	12/Set/93	09:50	53,0	17,8	Filtro entupido
12/Set/93	10:00	16/Set/93	16:00	40,5	15,9	Filtro entupido
16/Set/93	16:00	23/Set/93	16:00	43,2	17,8	Filtro entupido
23/Set/93	16:00	04/Out/93	16:30	32,7		Filtro entupido
27/Jun/94	16:54	04/Jul/94	12:45	15,7	20	Filtro entupido
04/Jul/94	12:45	10/Jul/94	14:11	7,7	11	
10/Jul/94	14:11	12/Jul/94	10:23	11,6	20	Filtro entupido
12/Jul/94	10:23	19/Jul/94	14:40	13,9	20	
19/Jul/94	10:40	22/Jul/94	15:48	11,4	18,2	Filtro entupido
22/Jul/94	15:48	27/Jul/94	15:20	15,2	17,8	
27/Jul/94	15:20	29/Jul/94	15:34	20,3	17,3	Filtro entupido
29/Jul/94	15:20	01/Ago/94	15:45	50,2	18,2	
01/Ago/94	15:45	08/Ago/94	15:41	102,9	8,1	Filtro entupido
08/Ago/94	15:41	11/Ago/94	07:02	90,3	5,5	
11/Ago/94	07:02	15/Ago/94	15:05	57,6	2,7	Filtro entupido
15/Ago/94	11:05	17/Ago/94	11:00	211,4	1,6	
17/Ago/94	11:00	19/Ago/94	11:00	172,9	1,5	Filtro entupido
19/Ago/94	11:00	20/Ago/94	08:00	235,2	3	
20/Ago/94	08:00	22/Ago/94	14:35	172,0	1,9	Filtro entupido
22/Ago/94	14:35	24/Ago/94	10:48	215,9	1,5	Filtro entupido

continua

conclusão

24/Ago/94	10:48	25/Ago/94	11:05	165,1	1,2	Filtro entupido	
25/Ago/94	11:05	28/Ago/94	15:42	399,3	2,2		
28/Ago/94	15:42	29/Ago/94	14:32	166,0	3,5		
31/Ago/94	16:08	05/Set/94	16:00	39,2	4,5		
05/Set/94	16:00	09/Set/94	16:00	106,4	5		
09/Set/94	16:00	19/Set/94	15:09	109,1	10		
19/Set/94	15:09	23/Set/94	14:28	45,3	6,6		Trovoada/umidade
23/Set/94	14:28	26/Set/94	09:36	84,0	3,7		
26/Set/94	09:36	28/Set/94	08:55	58,5	12,7		

Tabela contendo dados da média geométrica da visibilidade (vismg) e da concentração de particulado fino à superfície às 15h e 18h TMG em Cuiabá

INÍCIO		FIM		Vismg15	Vismg18	Fino	Obs.	
30/Jun/93	08:00	05/Jul/93	08:00	20	20	29,72	Chuvisco/Umidade	
05/Jul/93	08:00	07/Jul/93	12:00	20	20	11,62		
07/Jul/93	12:00	09/Jul/93	11:20	20	20	7,75		
09/Jul/93	11:25	12/Jul/93	16:00	14,14	17,6	16,55		
12/Jul/93	16:00	16/Jul/93	10:00	16,86	20	9,73		
16/Jul/93	10:00	19/Jul/93	10:00	20	20	8,51		
19/Jul/93	10:00	23/Jul/93	10:00	20	20	5,54		
23/Jul/93	10:00	29/Jul/93	10:00	8,27	11,22	16,45		
29/Jul/93	15:00	05/Ago/93	08:00	11,36	12,51	7,60		Chuvisco/Umidade
05/Ago/93	08:00	10/Ago/93	10:00	5,65	7,7	37,15		
25/Ago/93	08:00	30/Ago/93	11:00	7,08	8,07	18,24	Chuvisco/Umidade	
13/Set/93	11:00	16/Set/93	11:00	6,23	7,65	31,11		
16/Set/93	11:00	20/Set/93	14:00	6,87	8,2	16,04		
20/Set/93	16:00	24/Set/93	16:00	7,61	7,17	35,22		
29/Set/93	16:30	02/Out/93	16:00	18,17	20	16,02		
27/Jun/94	10:00	04/Jul/94	10:00	20	20	5,00		
04/Jul/94	10:00	13/Jul/94	09:00	17,5	18,5	3,18		Umidade>85%
13/Jul/94	09:00	21/Jul/94	09:00	20	20	2,02		
21/Jul/94	09:00	25/Jul/94	09:00	20	20	10,52		Trovoada/chuva
01/Ago/94	15:00	04/Ago/94	15:00	15,33	12,93	12,23		
04/Ago/94	15:00	08/Ago/94	07:00	12,59	15,87	14,80	Chuvisco/Umidade	
08/Ago/94	07:00	15/Ago/94	09:00	13,18	12,37	23,63		
15/Ago/94	09:30	18/Ago/94	15:00	11,38	13,54	16,42		
18/Ago/94	15:00	22/Ago/94	07:00	8,32	20	12,56		
22/Ago/94	07:00	23/Ago/94	10:00	8	15	29,85		
23/Ago/94	10:00	25/Ago/94	07:00	10,95	11,83	30,57		
25/Ago/94	07:00	29/Ago/94	07:00	3,87	4,95	43,98		
29/Ago/94	07:00	30/Ago/94	10:30	5	5	42,76		
30/Ago/94	10:30	01/Set/94	07:00	3,46	5,48	57,03		

continua

conclusão

01/Set/94	07:00	02/Set/94	16:00	4,47	6,32	74,12
02/Set/94	16:00	05/Set/94	07:00	20	20	18,02
05/Set/94	07:00	09/Set/94	07:00	6,7	7,2	22,90
27/Set/94	10:00	30/Set/94	09:30	5,24	5,52	25,94

Trovoada/chuva

APÊNDICE F

(TABELAS DE VISIBILIDADE E TOTAL DIÁRIO DE FOCOS DE CALOR)

Tabela contendo dados de visibilidade e total diário de focos de calor em Alta Floresta

1993	FOCOS			Vis 18	umidade rel. (%)
DATA	Total	Fraca	Forte		
1/7/93	15	13	2	20	36
2/7/93	4	3	1	20	48
3/7/93	0	0	0	20	45
4/7/93	2	2	0	20	42
5/7/93	0	0	0	20	37
6/7/93	0	0	0	20	49
7/7/93	0	0	0	15	71
8/7/93	7	6	1	20	50
9/7/93	15	12	3	20	43
10/7/93	11	8	3	20	36
11/7/93	10	7	3	20	33
12/7/93	9	7	2	20	40
13/7/93	0	0	0	18	68
14/7/93	0	0	0	20	54
15/7/93	0	0	0	20	39
16/7/93	14	14	0	20	40
17/7/93	25	21	4	20	35
18/7/93	33	31	2	15	26
19/7/93	44	38	6	20	37
20/7/93	29	28	1	20	31
21/7/93	18	18	0	20	30
22/7/93	0	0	0	20	30
23/7/93	0	0	0	9	29
24/7/93	46	42	4	20	36
25/7/93	X	X	X	X	X
26/7/93	35	32	3	20	34
27/7/93	60	51	9	20	30
28/7/93	88	77	11	15	30
29/7/93	48	42	6	15	37
30/7/93	0	0	0	15	55
31/7/93	0	0	0	20	62
1/8/93	34	30	4	16	36
2/8/93	99	91	8	20	31
3/8/93	246	216	30	12	29
4/8/93	302	270	32	5	32
5/8/93	300	253	47	15	26
6/8/93	234	194	40	15	29
7/8/93	0	0	0	3	30
8/8/93	0	0	0	12	37
9/8/93	165	137	28	8	33
10/8/93	428	386	42	3,5	36
11/8/93	459	394	65	0,6	42
12/8/93	537	475	62	2,5	36
13/8/93	X	X	X	X	X

continua

conclusão

14/8/93	54	42	12	1,6	63
15/8/93	0	0	0	8	48
16/8/93	0	0	0	15	50
17/8/93	0	0	0	6	41
18/8/93	222	189	33	5	46
19/8/93	X	X	X	12	52
20/8/93	X	X	X	7	41
21/8/93	X	X	X	3	50
22/8/93	X	X	X	15	55
23/8/93	4	4	0	18	67
24/8/93	0	0	0	20	51
25/8/93	0	0	0	20	46
26/8/93	X	X	X	20	45
27/8/93	X	X	X	8	50
28/8/93	99	80	19	18	58
29/8/93	31	26	5	10	76
30/8/93	57	50	7	18	52
31/8/93	10	8	2	2	58

Tabela contendo dados de visibilidade e total diário de focos de calor em Cuiabá

1993 DATA	FOCOS			Vis 18	umidade rel. (%)
	Total	Fraca	Forte		
1/7/93	57	49	8	20	32
2/7/93	39	29	10	20	33
3/7/93	26	22	4	20	27
4/7/93	12	11	1	20	31
5/7/93	0	0	0	20	27
6/7/93	0	0	0	20	56
7/7/93	0	0	0	20	72
8/7/93	18	15	3	20	47
9/7/93	48	41	7	20	29
10/7/93	61	51	10	20	29
11/7/93	18	14	4	20	28
12/7/93	2	1	1	12	79
13/7/93	0	0	0	20	73
14/7/93	0	0	0	20	40
15/7/93	0	0	0	20	46
16/7/93	27	21	6	20	58
17/7/93	77	60	17	20	39
18/7/93	71	60	11	20	28
19/7/93	33	27	6	20	27
20/7/93	41	36	5	20	33
21/7/93	8	4	4	20	26

continua

					conclusão
22/7/93	0	0	0	20	26
23/7/93	0	0	0	20	28
24/7/93	72	59	13	10	27
25/7/93	X	X	X	5	39
26/7/93	71	60	11	5	28
27/7/93	78	67	11	20	28
28/7/93	72	61	11	20	29
29/7/93	14	4	10	4	74
30/7/93	0	0	0	12	71
31/7/93	0	0	0	20	44
1/8/93	20	16	4	20	33
2/8/93	148	127	21	10	31
3/8/93	239	202	37	10	36
4/8/93	190	151	39	8	32
5/8/93	202	180	32	9	18
6/8/93	85	70	15	10	19
7/8/93	0	0	0	12	19
8/8/93	0	0	0	5	30
9/8/93	40	37	3	5	47
10/8/93	68	58	10	7	51
11/8/93	163	144	19	7	37
12/8/93	107	89	18	5	31
13/8/93	X	X	X	6	31
14/8/93	60	45	15	5	27
15/8/93	0	0	0	5	27
16/8/93	0	0	0	5	65
17/8/93	0	0	0	5	40
18/8/93	35	29	6	7	78
19/8/93	X	X	X	10	55
20/8/93	X	X	X	8	39
21/8/93	X	X	X	6	41
22/8/93	X	X	X	7	60
23/8/93	0	0	0	2	97
24/8/93	0	0	0	10	56
25/8/93	0	0	0	20	45
26/8/93	X	X	X	12	37
27/8/93	X	X	X	7	30
28/8/93	310	239	71	6	33
29/8/93	30	23	7	3	41
30/8/93	144	113	31	8	33
31/8/93	0	0	0	8	44