



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

LORENA CAVALCANTE LIMA DE FREITAS

A QUALIDADE DO AR NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA - CE
SOB A PERSPECTIVA DO SISTEMA CLIMA URBANO

FORTALEZA - CEARÁ

2016

LORENA CAVALCANTE LIMA DE FREITAS

**A QUALIDADE DO AR NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA - CE
SOB A PERSPECTIVA DO SISTEMA CLIMA URBANO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de doutora, na área de concentração em Dinâmica Territorial e Ambiental.

Orientadora: Prof. Dr^a Maria Elisa Zanella

Co-orientador: Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante

FORTALEZA – CEARÁ

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Freitas, Lorena Cavalcante Lima de.

A qualidade do ar na região metropolitana de Fortaleza – CE sob a perspectiva do sistema clima urbano / Lorena Cavalcante Lima de Freitas. – 2016.

195 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2016.

Orientação: Profa. Dra. Maria Elisa Zanella.

Coorientação: Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante .

1. Clima urbano. 2. Qualidade do ar. 3. Região metropolitana de Fortaleza. I. Título.

CDD 910

LORENA CAVALCANTE LIMA DE FREITAS

**A QUALIDADE DO AR NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA - CE
SOB A PERSPECTIVA DO SISTEMA CLIMA URBANO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de doutora, na área de concentração em Dinâmica Territorial e Ambiental.

Tese defendida em: 20 de outubro de 2016

Banca Examinadora

Prof. Dr^a. Maria Elisa Zanella (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)
Departamento de Geografia

Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante (Co-orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)
Instituto de Ciências do Mar

Prof. Dr. Francisco Wagner de Sousa (Membro)
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

Prof. Dr^a. Marta Celina Linhares Sales (Membro)
Universidade Federal do Ceará (UFC)
Departamento de Geografia

Prof. Dr. Jander Barbosa Monteiro (Membro)
Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF)

À minha família, com todo amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois é através da fé n'Ele que encontro entusiasmo para caminhar e continuar seguindo a diante. São tantas graças alcançadas, que às vezes acredito que Ele confia mais em mim do que eu mesma.

À minha querida orientadora e professora, Dr^a Maria Elisa Zanella, que com seu profissionalismo, competência, gentileza e confiança esteve sempre disposta a ajudar e a compartilhar seus conhecimentos, em todas as etapas da minha vida acadêmica, desde 2008, enquanto eu ainda era bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET) – Geografia/UFC.

Ao estimável co-orientador, professor Dr. Rivelino Martins Cavalcante, pela gentileza e comprometimento em me co-orientar, sem o qual esta pesquisa não seria possível. Principalmente, no que se refere à metodologia utilizada, a coletas e discussão dos dados.

Aos meus pais, Marcos Aurélio de Freitas Lima e Sílvia Helena Cavalcante Lima, pois mesmo em meio a dificuldades financeiras, sempre priorizaram a educação dos filhos. Incentivando-nos, sempre, a buscar conhecimentos e nos qualificarmos. Recordo-me com muito saudosismo algumas palavras do meu pai: “a única coisa que ninguém nunca tomará de vocês é a educação e conhecimento adquirido”.

Ao meu esposo, Glauber Queiroz de Freitas, pelo amor, compreensão, companheirismo e disposição em ajudar. Foi graças a sua credibilidade e apoio na minha vida acadêmica, especialmente, nos momentos mais difíceis desta caminhada, como nos exaustivos trabalhos de campo e tabulação dos dados, que consegui concluir essa pesquisa.

Aos meus irmãos, Felipe Cavalcante Lima e Renato Cavalcante Lima, que sempre estiveram ao meu lado. Incentivando, apoiando e acreditando em mim e nas minhas pesquisas.

À Camille Arraes Rocha, que com sua sabedoria e paciência me auxiliou ao longo de todo o desenvolvimento desta Tese.

Ao Prof. Dr. Francisco Wagner de Sousa e ao Prof. Dr. Jander Barbosa Monteiro por terem participado da banca de defesa da tese, enriquecendo a pesquisa com suas observações e considerações.

A todos que cederam suas residências e/ou instituições para instalação dos equipamentos de coleta.

À professora Dr^a Marta Celina Linhares Sales, por sempre avaliar as minhas pesquisas. Além de ter me apresentado a climatologia geográfica com tanto entusiasmo, área pela qual me apaixonei.

Ao amigo, Prof. Dr. Gledson Bezerra, por ter participado da banca de qualificação, contribuindo com suas ideias e sugestões.

A todos os amigos que fazem parte do Laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos do Departamento de Geografia UFC, a todos do Laboratório de Análise de Contaminantes Orgânicos, do Instituto de Ciências do Mar UFC, e aos do Laboratório de Análise e Traços, especialmente ao Jhonyson Guedes.

Aos amigos Antônio Ferreira Lima Júnior e Felipe da Rocha Borges, pelo empenho e atenção na confecção dos produtos cartográficos.

Ao Programa de Educação Tutorial (PET), por ter sido um divisor de águas na minha vida acadêmica. Com a ajuda desse programa, aprendi a percorrer os caminhos da pesquisa e do estudo. E aos bolsistas do PET 2008, pela amizade, ajuda e descobrimentos científicos.

A todos os professores do Departamento de Geografia da UFC, por seus ensinamentos. Especialmente, ao professor José Borzachiello da Silva, por suas contribuições teóricas acerca de geografia e do mundo.

Aos amigos da EEFM Professora Maria Gonçalves, pela torcida e apoio oferecido durante os anos de pesquisa e qualificação acadêmica.

A todos vocês, o meu sincero agradecimento.

"A geografia física possui duas características fundamentais: a proximidade acentuada com as ciências naturais, registrando inúmeros trabalhos com esta conotação, e a outra voltada às alterações do quadro natural do planeta, muito próxima da ecologia e da geografia humana, que leva em consideração a ação humana na análise da organização dos espaços".

Mendonça (2001)

RESUMO

Esta pesquisa objetivou avaliar a qualidade do ar na Região Metropolitana de Fortaleza. Tal estudo se fundamentou no canal físico-químico do Sistema Clima Urbano de Monteiro (1976). Buscou-se, também, verificar a influência do ritmo climático nas concentrações de poluentes detectadas. Foram coletadas amostras de Material Particulado Respirável (MPR) e Compostos Carbonílicos (CCs), detectados através de amostradores do ar. As análises dos contaminantes ocorreram durante o dia e à noite, em dias representativos da semana e do domingo, em estações sazonais contrastantes, período chuvoso e período seco. O trabalho foi realizado em três áreas: bairro Meireles, bairro Messejana e Distrito Industrial de Maracanaú. As coletas ocorreram em triplicata, com três pontos em cada área de coleta, os quais apresentavam dinâmica urbana e características geológicas diferenciadas. Após a quantificação dos poluentes, foi estimado o Risco de Câncer (RC), ao qual a população circunvizinha às áreas de coleta estaria exposta. Além da mensuração dos poluentes, verificou-se o fluxo de veículos, a dinâmica climática e os elementos do clima. Depreendeu-se, a partir dos resultados obtidos, que: o Distrito Industrial de Maracanaú apresentou as maiores concentrações de MPR e CCs, seguido pelo bairro Messejana e pelo bairro Meireles. As maiores concentrações de poluentes nas áreas de estudo foram detectadas durante a semana, devido ao maior fluxo de veículos e atividade industrial, havendo uma diminuição dos mesmos durante o domingo. A influência do efeito fotoquímico resultou na transformação dos poluentes primários em secundários, gerando uma maior concentração de CCs durante o dia se comparados com a noite. As maiores concentrações de MPR também foram verificadas durante o dia. Evidenciou-se no Distrito Industrial a maior possibilidade de desenvolvimento do RC. Tanto os sistemas atmosféricos, quanto os elementos do clima foram de suma importância para a dispersão e/ou concentração dos poluentes, nas áreas analisadas. Após a análise de todos esses resultados, concluiu-se que as maiores concentrações de CCs foram detectadas no período chuvoso. O MPR, por sua vez, exibiu as maiores concentrações durante o período seco. Tais situações ocorreram, possivelmente, em virtude dos elementos do clima e da dinâmica urbana.

Palavras-chave: Clima Urbano, Qualidade do ar e Região Metropolitana de Fortaleza.

ABSTRACT

This study aimed at evaluating the air quality in the Metropolitan Region of Fortaleza. It was based on the physicochemical channel of the Urban Climate System by Monteiro (1976). It also attempted to check the influence of climate dynamics in the detected polluting concentrations. Breathable Particulate Matter (PM) samples and Carbonyl Compounds (CCs) were collected, after being detected by the air samplers. These concentrations were analyzed during the day and the night, on representative week days and on Sundays, in contrasting annual seasons - the rainy and dry seasons. The work was carried out in three areas: Meireles neighborhood, Messejana neighborhood and Maracanaú Industrial District. Samplings occurred in triplicate, with three spots in each collecting area, which had distinguished urban dynamics and geologic features. After quantification of such pollutants, the Cancer Risk (CR) to which the population in these areas would be exposed was estimated. In addition to the measurement of pollutants, other aspects such as the flow of vehicles, climate dynamics, and the climate elements were also verified. From the results it was verified that the Maracanaú Industrial District showed the highest PM and CC's concentrations, followed by Messejana neighborhood and Meireles neighborhood. The highest concentrations of pollutants in the study areas were detected during the week, due to the increased flow of vehicles and industrial activity, and there was a decrease of these concentrations on Sundays. The influence of photochemical effect resulted in the transformation of primary to secondary pollutants, generating a higher concentration of CCs during the day, comparing with the night. The highest PM concentrations were also detected during daytime. The Industrial District showed the highest CR rating. Both atmospheric system and climate elements were very important for the dispersion and / or concentration of pollutants in the analyzed areas. After analyzing all these results, it was concluded that the highest concentrations of CCs were found in the rainy season. The PM, on the other hand, showed the highest concentrations during the dry period. Such situations have occurred possibly due to the climate elements and the urban dynamics.

Keywords: urban climate, air quality and metropolitan region of Fortaleza.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 -	Localização das áreas de coleta	27
Figura 02 -	Formação dos poluentes secundários	53
Figura 03 -	Caminho do material particulado atmosférico no corpo humano	56
Figura 04 -	Estrutura da Troposfera	64
Figura 05 -	Estratificação vertical da atmosfera urbana e escalas de análise	65
Figura 06 -	Condições de estabilidade e instabilidade do ar	66
Figura 07 -	Inversão Térmica	67
Figura 08 -	Cartuchos Sep-Pak C18	80
Figura 09 -	Amostrador dos CCs e MPR	81
Figura 10 -	Cassete para a coleta de MPR	83
Figura 11	Zona de Convergência Intertropical	90
Figura 12 -	(A) Esquema de Brisa Marítima e (B) Esquema de Brisa Terrestre	91
Figura 13 -	Evolução da população em Fortaleza de 1872 – 2010	100
Figura 14 -	Taxa de motorização nas regiões brasileiras	104
Figura 15 -	Ranking das maiores frotas de veículos do Brasil	106
Figura 16 -	Esquema de representação da direção predominante dos ventos e da poluição em Maracanaú	119
Figura 17 -	Companhia Metalic Nordeste	120
Figura 18 -	(A) Temperatura do ar e (B) umidade relativa do mês de abril de 2015	124
Figura 19 -	(A) Precipitação e (B) nebulosidade do mês de abril de 2015	127
Figura 20 -	(A) Velocidade e (B) direção dos ventos do mês de abril de 2015	128
Figura 21 -	(A) Insolação e (B) pressão do mês de abril de 2015	129
Figura 22 -	Compilação da dinâmica atmosférica das 9h, 15h e 21h. (A) dia 17 e (B) dia 19 de abril de 2015	131
Figura 23 -	Compilação da dinâmica atmosférica das 9h, 15h e 21h. (A) dia 24 e (B) dia 26 de abril de 2015	132
Figura 24 -	Compilação da dinâmica atmosférica das 9h, 15h e 21h. (A) dia 30 de abril e (B) dia 01 de maio de 2015	133
Figura 25 -	(A) Temperatura do ar e (B) umidade relativa do mês de novembro de 2015	151

Figura 26 -	(A) Precipitação e (B) nebulosidade do mês de novembro de 2015	152
Figura 27 -	(A) Velocidade e (B) direção dos ventos do mês de novembro de 2015	153
Figura 28 -	(A) Insolação e (B) pressão do mês de novembro de 2015	154
Figura 29 -	Compilação da dinâmica atmosférica das 9h, 15h e 21h. (A) dia 13 e (B) dia 15 de novembro de 2015	156
Figura 30 -	Compilação da dinâmica atmosférica das 9h, 15h e 21h. (A) dia 20 e (B) dia 22 de novembro de 2015	157
Figura 31 -	Compilação da dinâmica atmosférica das 9h, 15h e 21h. (A) dia 27 e (B) dia 29 de novembro de 2015	158

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar	58
Tabela 02 - Valores de referência para cada poluente do estudo pela legislação e órgão ambiental brasileiro e por órgãos ambientais e de saúde internacionais ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	58
Tabela 03 - Compostos Carbonílicos estudados	59
Tabela 04 - Estudos antecedentes a esta pesquisa	61
Tabela 05 - Descrição das variáveis usadas nos cálculos da exposição e estimativa do risco de câncer	85
Tabela 06 - Precipitação total anual de Fortaleza (2000-2013)	92
Tabela 07 - Parâmetros climáticos para Fortaleza (1983-2013)	94
Tabela 08 - Contrastes da quantidade de chuvas do período inverno/primavera e verão/outono.....	111
Tabela 09 - Fluxo de veículos no P1 do bairro Meireles – PC	135
Tabela 10 - Fluxo de veículos no P2 do bairro Meireles – PC	135
Tabela 11 - Fluxo de veículos no P3 do bairro Meireles – PC	135
Tabela 12 - Fluxo de veículos no P1 do bairro Messejana – PC	136
Tabela 13 - Fluxo de veículos no P2 do bairro Messejana – PC	136
Tabela 14 - Fluxo de veículos no P3 do bairro Messejana – PC	136
Tabela 15 - Fluxo de veículos no P1 do Distrito Industrial de Maracanaú – PC	136
Tabela 16 - Fluxo de veículos no P2 do Distrito Industrial de Maracanaú- PC	137
Tabela 17 - Fluxo de veículos no P3 do Distrito Industrial de Maracanaú – PC	137
Tabela 18 - Estudos antecedentes a este estudo sobre as concentrações de MPR.....	141
Tabela 19 - Razão entre acetaldeído/formaldeído – PC	146
Tabela 20 - Fluxo de veículos no P1 do bairro Meireles -PS	159
Tabela 21 - Fluxo de veículos no P2 do bairro Meireles -PS	159
Tabela 22 - Fluxo de veículos no P3 do bairro Meireles -PS	160
Tabela 23 - Fluxo de veículos no P1 do bairro Messejana -PS	160
Tabela 24 - Fluxo de veículos no P2 do bairro Messejana -PS	160
Tabela 25 - Fluxo de veículos no P3 do bairro Messejana - PS	160

Tabela 26 - Fluxo de veículos no P1 do Distrito Industrial de Maracanaú -PS	161
Tabela 27 - Fluxo de veículos no P2 do Distrito Industrial de Maracanaú -PS	161
Tabela 28 - Fluxo de veículos no P3 do Distrito Industrial de Maracanaú -PS	161
Tabela 29 - Razão entre acetaldeído/formaldeído – PS	168

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Curva de calibração do formaldeído	77
Gráfico 02 - Curva de calibração do acetaldeído	78
Gráfico 03 - Curva de calibração do acroleína	78
Gráfico 04 - Precipitação média mensal de Fortaleza (1983-2013)	95
Gráfico 05 - Temperatura média mensal de Fortaleza (1983-2013)	95
Gráfico 06 - Umidade Relativa média de Fortaleza (1983-2013)	96
Gráfico 07 - Evaporação média mensal de Fortaleza (1983-2013)	97
Gráfico 08 - Velocidade média mensal dos ventos para Fortaleza (1983-2013)	97
Gráfico 09 - Evolução da frota de veículos da RMF	107
Gráfico 10 - Evolução da frota de veículos de Fortaleza	108
Gráfico 11 - Total de precipitação mensal entre os anos 2000 e 2010, Maracanaú	110
Gráfico 12 - Temperaturas máximas, média e mínima, e temperatura média geral, 2000 a 2010.....	112
Gráfico 13 - Frota de veículos de Maracanaú	114
Gráfico 14 - Somatório do fluxo de veículos por área – PC	138
Gráfico 15 - Concentração de MPR nas áreas de coleta – PC	139
Gráfico 16 - Concentração máxima, mínima, média e mediana de MP (PC)	140
Gráfico 17 - Concentrações de formaldeído e acetaldeído no bairro Meireles – PC	142
Gráfico 18 - Concentrações de formaldeído e acetaldeído no bairro Messejana – PC	143
Gráfico 19 - Concentrações de formaldeído e acetaldeído em Maracanaú – PC	144
Gráfico 20 - Concentração de formaldeído e acetaldeído nas áreas de coleta – PC	145
Gráfico 21 - Exposição Diária ao Formaldeído e ao Acetaldeído- PC	147
Gráfico 22 - Risco de Câncer Formaldeído e ao Acetaldeído -PC	147
Gráfico 23 - Somatório do fluxo de veículos por área – PS	162
Gráfico 24 - Concentração de MPR na área de estudo – PS	163
Gráfico 25 - Concentração máxima, mínima, média e mediana de MP (PS)	164
Gráfico 26 - Concentrações de formaldeído e acetaldeído no bairro Meireles – PS	165
Gráfico 27 - Concentrações de formaldeído e acetaldeído no bairro Messejana – PS .	166

Gráfico 28 -	Concentrações de formaldeído e acetaldeído no Distrito Industrial do Maracanaú – PS	167
Gráfico 29 -	Relação entre a concentração de formaldeído e acetaldeído por área – PS	168
Gráfico 30 -	Exposição Diária ao Formaldeído e Acetaldeído – PS	169
Gráfico 31 -	Risco de Câncer ao Formaldeído e Acetaldeído – PS	169
Gráfico 32 -	Relação entre Precipitação e Formaldeído (A) Semana (B) Domingo – PC	172
Gráfico 33 -	Relação entre Precipitação e Acetaldeído (A) Semana (B) Domingo – PC	172
Gráfico 34 -	Relação entre Precipitação e MPR (A) Semana (B) Domingo – PC	173
Gráfico 35 -	Relação entre Vento e Formaldeído (A) Semana (B) Domingo – PC	173
Gráfico 36 -	Relação entre Vento e Acetaldeído (A) Semana (B) Domingo – PC	174
Gráfico 37 -	Relação entre Vento e MPR (A) Semana (B) Domingo – PC	174
Gráfico 38 -	Relação entre Precipitação e Formaldeído (A) Semana (B) Domingo – PS	175
Gráfico 39 -	Relação entre Precipitação e Acetaldeído (A) Semana (B) Domingo – PS	175
Gráfico 40 -	Relação entre Precipitação e MPR (A) Semana (B) Domingo – PS	176
Gráfico 41 -	Relação entre Vento e Formaldeído (A) Semana (B) Domingo – PS	176
Gráfico 42 -	Relação entre Vento e Acetaldeído (A) Semana (B) Domingo – PS	177
Gráfico 43 -	Relação entre Vento e MPR (A) Semana (B) Domingo – PS	177

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Sistema Clima Urbano	34
Quadro 02 - Relação dos principais poluentes atmosféricos	52
Quadro 03 - Propriedades nocivas de alguns contaminantes à saúde	61
Quadro 04 - Modelo metodológico utilizado	71
Quadro 05 - Direção média dos ventos para Fortaleza (2000-2010)	98
Quadro 06- Termos e definições dos veículos	105

LISTA DE MAPAS

Mapa 01 -	Localização dos pontos do bairro Meireles	73
Mapa 02 -	Localização dos pontos do bairro Messejana	74
Mapa 03 -	Localização dos pontos do Distrito Industrial de Maracanaú	75
Mapa 04 -	Localização das indústrias no entorno dos pontos de Maracanaú	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACN	Acetonitrila
BNH	Banco Nacional de Habitação
CC	Compostos Carbonílicos
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CD	Ciclo Diesel
CDI	Cálculo de Ingestão Crônica Diária
CETREDE	Centro de Treinamento e Desenvolvimento
CLP	Camada Limite Planetária
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CO	Ciclo Otto
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DAR	Doença do Aparelho Respiratório
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DI	Distrito Industrial
DIF	Distrito Industrial de Fortaleza
ENOS	El Niño Oscilação Sul
EUA	Estados Unidos da América
GNV	Gás Natural Veicular
HC	Hidrocarboneto
HPLC	High Performance/Pressure Liquide Chromatography
IARC	International Agency for Research on Câncer
IBAMA	Instituto Brasileiro do meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPECE	Instituto de pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IRIS	Integrated Risk Information System
IRA	Infecções Respiratórias Agudas
LACOR	Laboratório de Contaminantes Orgênicos

MEA	Massa Equatorial Atlântica
MEAN	Massa Equatorial do Atlântico Norte
MEAS	Massa Equatorial do Atlântico Sul
MIC	Methyl-Isocianeto
MPR	Material Particulado Respirável
MPT	Material Particulado Total
MTA	Massa Tropical Atlântica
NIOSH	National Institute for occupational safety and Helath
NR	Norma Regulamentadora
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PAITT	Plano de Ações Imediatas de Transporte e Trânsito
PC	Período Chuvoso
PM ₁₀	Partículas com um diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm
PROCONVE	Programa de Controle da poluição do Ar por Veículos Automotores
PS	Período Seco
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SCU	Sistema Clima Urbano
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SEUMA	Secretaria de Urbanismo e Meio Ambiente de Fortaleza
SF	Slope Factor
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TGS	Teoria Geral do Sistema
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UNILIVRE	Universidade Livre do Meio Ambiente
UBL	Urban Boundary Layer
UCL	Urban Canopy Layer
URI	Unidade de Risco de Inalação
US-EPA	United States Environmental Protection Agency
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
2,4-DNPH _i	2,4-Dinitrofenilhidrazina
2,4-DNPH ₀	2,4-Dinitrofenilhidrazona

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	25
1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	31
1.1 – O sistema clima urbano na perspectiva do subsistema físico-químico	31
1.2 Clima e Saúde	37
1.2.1 <i>Poluição e doenças respiratórias</i>	39
1.3 – Poluição e qualidade do ar nas cidades	44
1.4 – Fontes e tipos de contaminantes	51
1.5 – Os contaminantes em análise: Material Particulado Respirável, Compostos Carbonílicos e seus efeitos à saúde humana.....	55
1.5.1 - <i>Material Particulado Respirável</i>	55
1.5.2 - <i>Compostos Carbonílicos</i>	59
1.5.2.1 - <i>Os efeitos dos contaminantes na saúde humana</i>	61
1.6 – A dispersão dos poluentes: fatores urbanos e meteorológicos	64
2 – METODOLOGIA E RECURSOS TÉCNICOS	71
2.1 – Estratégias de amostragem	72
2.2 – Metodologia de amostragem dos compostos carbonílicos	77
2.2.1 – <i>Preparo das soluções padrões de hidrazonas (2,4 DNPH o– CC)</i>	77
2.2.2 - <i>Preparo da solução 2,4 DNPH i)</i>	78
2.2.3 – <i>Preparação e impregnação dos cartuchos Sep-Pak C18 para as amostragens</i>	79
2.2.4 – <i>Amostragem do ar</i>	80
2.2.5 – <i>Eluição dos cartuchos</i>	81
2.2.6 – <i>Método cromatográfico</i>	81
2.2.7 – <i>Quantificação dos compostos carbonílicos</i>	82
2.3 – Metodologia de amostragem do material particulado respirável	82
2.3.1 – <i>Preparação do filtro para amostragens</i>	82
2.3.2 – <i>Amostragem do ar</i>	82
2.3.3 – <i>Análise do filtro amostrado</i>	83
2.4 – Metodologia de amostragem dos dados auxiliares	84
2.4.1 – <i>Fluxo de automóveis e pessoas</i>	84
2.5 – Metodologia da avaliação do risco à saúde humana	84
2.5.1 – <i>Cálculo da exposição diária individual</i>	84
2.5.2 – <i>Avaliação do risco às substâncias carcinogênicas e não carcinogênicas</i>	85
3 – CARACTERIZAÇÃO GEOECOLÓGICA, BREVE HISTÓRICO SOCIOECONÔMICO E DA FROTA DE VEÍCULOS	88
3.1 – Fortaleza	88
3.1.1 - <i>Caracterização climática e geoecológica</i>	88

3.1.2 - Aspectos socioeconômicos	98
3.1.3 – A frota de veículos de Fortaleza e sua Região Metropolitana no panorama brasileiro	103
3.2 – Maracanaú	109
3.2.1 - Caracterização climática e geoecológica	109
3.2.2 - Aspectos socioeconômicos.....	113
4 – ANÁLISE DOS DADOS REFERENTES AO PERÍODO CHUVOSO	123
4.1 – Análise climática do mês de abril de 2015	123
4.1.1 – Sistemas atmosféricos	130
4.2 – Fluxo de veículos	134
4.3 – Material Particulado Respirável	138
4.4 – Compostos carbonílicos	141
4.4.1 – Risco à saúde.....	146
5 – ANÁLISE DOS DADOS REFERENTES AO PERÍODO SECO	149
5.1 – Análise climática do mês de novembro de 2015	149
5.1.1 – Sistemas atmosféricos.....	155
5.2 – Fluxo de veículos	159
5.3 – Material Particulado Respirável	162
5.4 – Compostos carbonílicos	164
5.4.1 – Risco à saúde	169
.	
6 – CONCLUSÕES	171
7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	181
REFERÊNCIAS	183

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização intensificou-se no mundo desde o final da Revolução Industrial. No Brasil, de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), mais de 85% da população reside em áreas urbanas. Essa elevada urbanização, não só no Brasil, mas na maioria dos países do mundo, traz vários impactos negativos à sociedade, à economia e ao meio ambiente.

No Brasil, a urbanização ocorreu de uma maneira rápida e desordenada, ocasionando uma degradação ambiental mais intensa e uma queda da qualidade de vida da população. Muitos problemas socioambientais decorreram de tais processos, refletindo diretamente nas condições de saúde e bem-estar da população. Fenômenos ligados aos eventos climáticos extremos, como enchentes e deslizamento de encostas, poluição atmosférica e à configuração das chamadas ilhas de calor urbanas, são alguns dos resultados das novas condições ambientais vivenciadas na modernidade.

As cidades do mundo urbano-industrial, com maior ou menor intensidade, sofrem as consequências da poluição aérea. As variações no volume e nos impactos negativos da emissão de gases e particulados para a atmosfera ficam sempre dependentes de três conjuntos de fatores: a localização do sítio urbano no espaço total do território, do clima e da sucessão habitual do tempo na área, além do fato essencial que é mosaico dos fatores responsáveis pelos fluxos ascendentes de poluentes (oriundos da circulação de veículos e da localização das indústrias).

De acordo com Mazetto (2008), influência das condições atmosféricas sobre a saúde humana é um tema que já vem sendo discutido desde a Grécia antiga (480 a. C.) através da obra de Hipócrates, “Dos ares, das águas e dos lugares”, na qual o mestre de Cós procurava demonstrar a influência dos fatores climáticos sobre o surgimento de determinadas doenças. Estima-se que, desde meados do século passado, a poluição atmosférica oriunda das emissões veiculares e industriais se intensificou e trouxe consigo muitos impactos negativos ao ambiente físico e à poluição circunvizinha.

A sociedade contemporânea continua sofrendo intensos efeitos negativos e degradantes causados pela emissão de substâncias diversas na atmosfera, como por exemplo: problemas de saúde, redução das aptidões físicas, desconforto térmico, transformação de paisagens e mudanças climáticas que envolvem escalas desde o nível local até o global, além

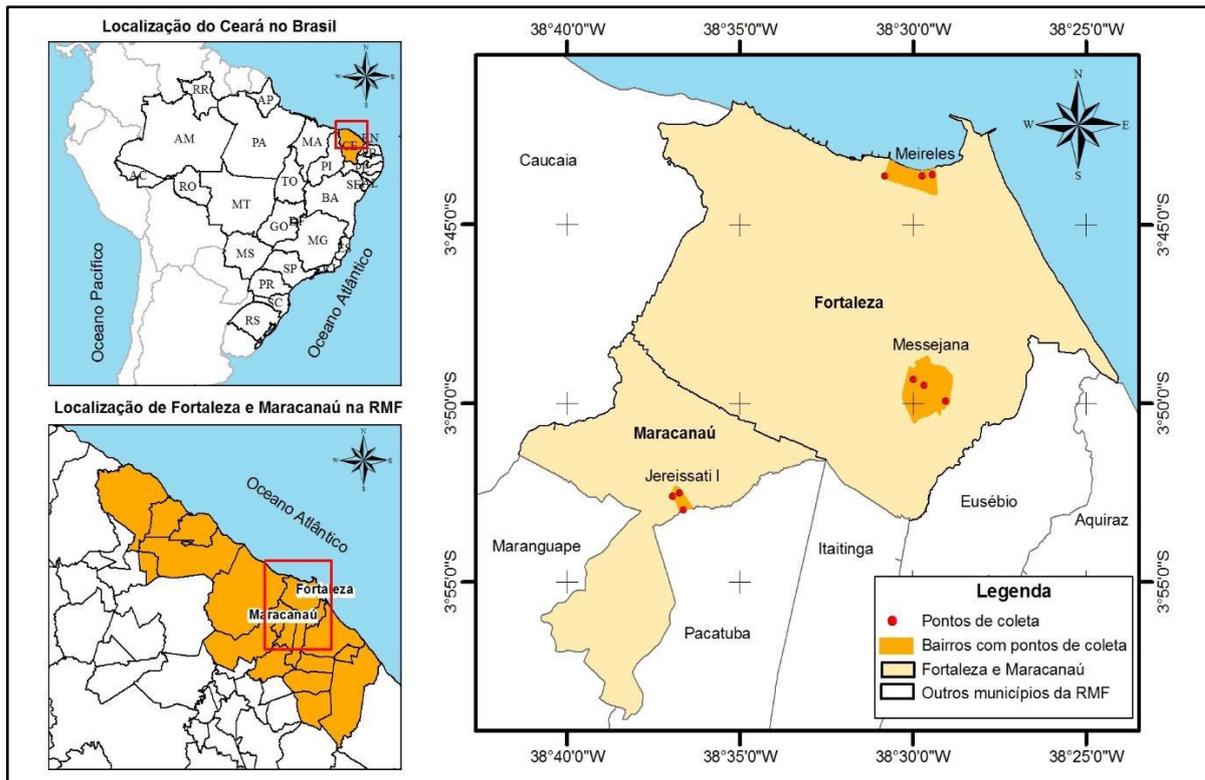
de estudos epistemológicos, como os de Cavalcante et al (2011) já mencionarem o risco de câncer que as pessoas expostas a determinados contaminantes estão submetidas.

No Ceará, o monitoramento dos poluentes é de responsabilidade da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), que em agosto de 1983, instalou quatro estações de monitoramento: estação I, na área central de Fortaleza; estação II, no Distrito Industrial de Maracanaú; estação III, na Av. Presidente Castelo Branco e estação IV, no Aterro do Jangurussu. No entanto, essas estações foram desinstaladas em 2007, com a expectativa de serem adquiridos novos e sofisticados equipamentos, o que ainda não ocorreu.

A área de estudo desta pesquisa é a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), em virtude do grande fluxo de veículos e adensamento industrial, responsáveis pela grande emissão de poluentes nas áreas de coleta. A RMF (FIGURA 1) é formada por um conjunto de quinze municípios, constituindo-se como um importante aglomerado demográfico, com expressiva conotação política e econômica para o Estado. Estudos como Almeida (2005) e Cajazeira (2012) demonstraram que as indústrias são a principal fonte de poluentes em Maracanaú; já os automóveis são a principal fonte de emissão em Fortaleza (SEUMA, 2015). Embora o Complexo Industrial e Portuário do Pecém, instalado no município de São Gonçalo do Amarante, não seja objeto de estudo desta pesquisa, é importante destacar os impactos que esse complexo trará para a qualidade do ar da RMF.

Com um ritmo acelerado e desordenado de crescimento, Fortaleza está atualmente entre as cinco maiores cidades do Brasil, com uma população estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016) em 2.609.716 habitantes, responsável por 46,5% da população que habita a RMF. A capital cearense conta com uma frota de veículos circulantes que passou de 402.387 em 2002 para mais de 1 milhão em 2015, segundo o último estudo do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2015). Já o Distrito Industrial de Maracanaú reúne mais de cem empresas de diversas áreas de atuação, como as têxteis, metalurgia e mecânica, papel e papelão, material elétrico, química, calçados e serviços de construção. A sua produção destina-se tanto para o próprio estado, como para outros estados brasileiros e o exterior.

Figura 01 - Localização das áreas de coleta



Fonte: A autora

Ressalta-se que o período de análise e coleta dos dados propostos por esta pesquisa refere-se ao ano de 2015, no qual foram mensuradas as concentrações de Material Particulado Respirável e de Compostos Carbonílicos, em duas estações sazonais contrastantes: período chuvoso (abril/maio - outono austral) e período seco (novembro - primavera austral).

No Brasil, atribui-se a Monteiro (1976, 2015) a primeira e mais importante sistematização dos estudos de clima urbano, que deu origem a diversos planos de ação em cidades brasileiras. O Sistema Clima Urbano (S.C.U) é dividido em três subsistemas: Termodinâmico, Físico Químico e Hidro-meteorológico. Esses são associados respectivamente a três canais de percepção: conforto térmico, qualidade do ar e impactos meteorológicos.

Para o S.C.U. os mecanismos de sucessão característicos do ritmo habitual de tipos de tempo são extremamente importantes à previsão e avaliação da gravidade do fenômeno de poluição do ar. A partir da técnica de análise rítmica, podem-se reconstituir os tipos de tempo atuantes em escala diária e classificá-los de acordo com sua gênese e dinâmica, incluindo os poluentes como uma variável integrada aos elementos meteorológicos e à situação geográfica do lugar estudado.

Compreendendo a carência (mensuração e quantificação dos poluentes) e a importância de se desenvolver pesquisas sobre a qualidade do ar e seus impactos deletérios ao bem-estar e à saúde da população, algumas questões básicas nortearam os interesses pela temática abordada e subsidiaram a elaboração desta pesquisa. São elas:

- ✚ Como a dispersão dos poluentes está sendo processada diante do quadro de intenso trânsito de veículos, corredores industriais e um adensamento urbano na RMF e qual a influência dos atributos climáticos e das características urbanas locais nessa dispersão/concentração?
- ✚ Em que proporção os CCs e MPR podem ser encontrados na área de estudo, em virtude, principalmente, das emissões veiculares e industriais na RMF? E em que período sazonal elas mais se evidenciam?
- ✚ A Exposição Diária aos poluentes em análise gerou Risco de Câncer à população local?

Tendo como base esses questionamentos, traçou-se como objeto de estudo desta tese o clima urbano da RMF, tendo como objetivo geral do trabalho:

- ✚ Analisar a qualidade do ar da Região Metropolitana de Fortaleza sob a perspectiva do Sistema Clima Urbano/subsistema físico químico, associada à gênese climática e às características urbanas locais, em períodos sazonais contrastantes (chuvoso e seco).

Já os objetivos específicos traçados para a execução do trabalho são citados a seguir:

- ✚ Quantificar o Material Particulado Respirável (MPR $\leq 2,5\mu\text{m}$) e Compostos Carbonílicos presentes na atmosfera da área de estudo;
- ✚ Analisar o comportamento dos atributos climáticos (temperatura do ar, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos, pluviosidade, nebulosidade e insolação) e urbanos, e sua relação com a dispersão/concentração de poluentes;
- ✚ Avaliar o comportamento dos poluentes e suas repercussões na qualidade do ar, nos períodos sazonais: chuvoso (verão/outono) e seco (inverno/primavera);

- ✚ Estimar a exposição diária das pessoas ao MPR, CCs e ao Risco de Câncer, à qual podem estar submetidas;
- ✚ Propor ações de controle que viabilizem a melhoria da qualidade do ar da área de estudo.

Com base nesses objetivos esta tese de doutorado foi estruturada em cinco capítulos. O capítulo 1 refere-se à “*Fundamentação Teórica*”, no qual o SCU constitui-se como o principal aporte teórico, discutindo-se também temas norteadores para a apreensão dos objetivos propostos por esta tese, como: os sistemas atmosféricos, a qualidade do ar e os poluentes em análise (MPR e CCs). No capítulo 2, “*Procedimentos Técnico-Methodológicos*”, são demonstradas as técnicas e materiais utilizados no desenvolvimento da pesquisa, desde a escolha dos pontos de coleta até a montagem dos equipamentos, finalizando com os procedimentos para a aluição e tabulação dos dados.

O capítulo 3, por sua vez, intitulado “Breve histórico socioeconômico e caracterização geocológica da área de estudo” são abordados os aspectos socioeconômicos, fundamentais para se conhecer a realidade da dinâmica da RMF, a crescente frota de veículos e adensamento industrial. Desenvolve-se, também, uma breve discussão sobre a caracterização dos aspectos geológicos, geomorfológicos, climatológicos, hidrológicos e vegetacionais peculiares a Fortaleza e Maracanaú.

Os capítulos 4 e 5 referem-se aos resultados obtidos durante as coletas dos períodos chuvoso e seco, respectivamente. Neles foram analisados e discutidos: os sistemas atmosféricos responsáveis pela gênese dos tipos de tempo, cujas suas características são imprescindíveis para a dispersão ou não dos poluentes; os poluentes (MPR e CCs) detectados e suas implicações na qualidade do ar; o fluxo de veículos, as características urbanas e industriais responsáveis pela emissão dos poluentes e, também, a relação entre o clima e a saúde, estimado por meio da equação que identifica o risco de câncer a que pessoas expostas aos contaminantes em análise estão submetidas.

O capítulo 6 refere-se à relação entre a precipitação e os ventos com a qualidade do ar da RMF. Por fim, o capítulo 7 apresenta as “*Considerações Finais*” do trabalho, sendo realizadas reflexões sobre toda a pesquisa e os seus resultados.

CAPÍTULO 1

1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 – O Sistema Clima Urbano na perspectiva do subsistema físico-químico

O Sistema Clima Urbano (S.C.U) foi proposto por Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro (1976) e tem como base a Teoria Geral dos Sistemas (T.G.S) e a concepção dinâmica do clima¹ expressa por Sorre (1934).

Até o final da década de 70, do século XX, eram poucos os trabalhos voltados para a climatologia urbana, e quando estes eram realizados, tinham como referencial teórico a literatura internacional (VIANA, 2006). É importante destacar, segundo Moura (2006), que os pioneiros no estudo do clima urbano, H.E Landsberg e Tony Chandler, influenciaram a teoria de Monteiro, contudo esses anseios não configuraram um modelo a seguir, tendo em vista a abordagem climatológica separatista desses autores.

A perspectiva do S.C.U proposta por Monteiro (1976) aborda o clima da cidade a partir da integração entre o homem, a natureza e a cidade sob a mesma atmosfera, de modo que essa proposta teórica se tornou a principal fonte de referência para o estudo do clima urbano no Brasil, contribuindo para a estabilização de uma escola climática em nosso país. O S.C.U é composto por critérios de escolha, enunciados básicos, questões básicas de consistência e os canais de percepção.

Os critérios de escolha, segundo Monteiro (1976), são o Pragmatismo, o Dinamismo, a Consistência, o Empirismo e o Modelismo. O Pragmatismo concentra-se no pesquisador e dirige-se a outros pesquisadores que queiram fazer uso dos resultados da investigação. O Dinamismo refere-se à própria conceituação sorreana do clima e o dinamismo intrínseco do fenômeno urbano capaz de ser revelado em diferentes graus. A Consistência possibilita a estruturação teórica capaz de atingir e enquadrar tanto os fatos mais amplos e complexos como os mais simples e restritos, possuindo elasticidade ou amplitude no tempo e no espaço, de modo que a moldura teórica deva ser capaz de orientar a investigação em qualquer cidade do mundo. O Empirismo está relacionado às observações, tornando-as possíveis de serem verificadas ou refutadas. O Modelismo trata do aperfeiçoamento continuado, mapeamento e diagramação da pesquisa.

¹ Esta escola desenvolveu os conceitos de massa de ar, frentes, como peças fundamentais da dinâmica atmosférica. Não podemos, no entanto, desprezar o acúmulo de conhecimento e teorias sobre a circulação geral da atmosfera iniciado no distante século XVII com Halley (RIBEIRO, 1982: 48 – 49).

Os enunciados básicos do S.C.U são apresentados por Monteiro (1976) como ideias reguladoras, sendo eles:

- 1- O clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização (MONTEIRO, 1976: 95).
- 2- O espaço urbanizado, que se identifica a partir do sítio, constitui o *núcleo* do sistema que mantém relações íntimas com o *ambiente* regional em que se insere (MONTEIRO, 1976: 96).
- 3- O S.C.U importa energia através do seu ambiente, é sede de uma secessão de eventos que articulam diferenças de estados, mudanças e transformações internas, a ponto de gerar produtos que se incorporam ao núcleo e/ou são exportados para o ambiente, configurando-se como um todo de organização complexa que se pode enquadrar na categoria dos sistemas abertos (MONTEIRO, 1976: 96).
- 4- As entradas de energia do S.C.U são de natureza térmica (oriundas da fonte primária de energia de toda a Terra – o Sol), implicando componentes dinâmicas inequívocas determinadas pela circulação atmosférica, e decisivas a componente hídrica englobada nesse conjunto (MONTEIRO, 1976: 97).
- 5- A avaliação dessa entrada de energia no S.C.U deve ser observada tanto em termos quantitativos como, especialmente, em relação ao seu modo de transmissão (MONTEIRO, 1976: 98).
- 6- A estrutura interna do S.C.U não pode ser definida pela simples superposição ou adição de suas partes (compartimentação ecológica, morfológica, ou funcional urbana), mas somente por meio da íntima conexão entre elas (MONTEIRO, 1976: 99).
- 7- O conjunto produto do S.C.U pressupõe vários elementos que caracterizam a participação urbana no desempenho do sistema. Sendo variada e heterogênea essa produção, faz-se mister uma simplificação classificadora que deve ser constituída através de canais de percepção humana (MONTEIRO, 1976: 100).
- 8- A natureza do S.C.U implica em condições especiais de dinamismo interno consoante o processo evolutivo do crescimento e desenvolvimento urbano, uma vez que várias tendências ou expressões formais de estrutura se sucedem ao longo do processo de urbanização (MONTEIRO, 1976: 100).
- 9- O S.C.U é admitido como passível de auto-regulação, função essa conferida ao elemento *homem urbano* que, na medida em que o conhece e é capaz de detectar suas disfunções, pode, através do seu poder de *decisão*, intervir e adaptar o funcionamento do mesmo, recorrendo a dispositivos de reciclagem e/ou circuitos de retroalimentação capazes de conduzir o seu desenvolvimento e crescimento seguindo metas preestabelecidas (MONTEIRO, 1976: 101).
- 10- Pela possibilidade de interferência auto-reguladora, acrescentam-se ao S.C.U como sistema aberto, aquelas propriedades de *entropia negativa* pela sua própria capacidade de especialização dentro do crescimento através de processos adaptativos, podendo ser qualificado, assim, como um sistema morfogenético (MONTEIRO, 1976: 102).

Para Monteiro (1976) o S.C.U, pela sua tendência natural, estaria fadado a constituir um sistema organístico à procura de equilíbrio homeostático, porém pelo crescimento desordenado da urbanização, isso dificilmente seria obtido. No entanto, nada evita que o Homem, conscientemente, dirija o crescimento urbano no sentido de adaptação progressiva às metas do crescimento harmônico (MONTEIRO, 1976:102).

No tocante às questões básicas de consistência, são apresentados a Ordem de Grandeza e Graus de Organização, os Padrões de Comportamento e Auto-regulação e a Dinâmica Processual e Padrões Estruturais.

A Ordem de Grandeza e Graus de Organização trata da preocupação com as categorias taxonômicas, sem a pretensão de estabelecer limites absolutos a cada unidade morfoclimática, bem como ressalta a importância de considerar os sistemas organizados, não apenas como simples agregados de partes elementares, mas acima de tudo quanto ao aspecto organizacional, em que constituem subconjuntos em vários níveis de hierarquia (MONTEIRO, 1976).

Os Padrões de Comportamento e Auto-regulação são essencialmente pertinentes ao 8º, 9º e 10º enunciados básicos, interessando a todo o caráter do sistema, pois considera o S.C.U um sistema adaptativo em cuja evolução o poder de decisão do Homem deve ser canalizado como mecanismo de intervenção para a Auto-regulação (MONTEIRO, 1976: 117). Por fim, a Dinâmica Processual e Padrões Estruturais do S.C.U são esclarecidos pelo 3º, 4º, 5º, 6º, 7º e 8º enunciados e se referem aos graus de hierarquia funcional e dos níveis de resolução do sistema.

Monteiro (1976) elabora um quadro teórico e metodológico para o estudo do clima urbano, como pode ser observado no (QUADRO 1). Os níveis que formam a estrutura geral do S.C.U são compostos por três subsistemas - Termodinâmico, Físico-Químico e Hidrometeorológico - associados, respectivamente, aos canais de percepção: Canal I – Conforto Térmico, Canal II - Qualidade do Ar, Canal III – Impacto Meteorológico.

Cada um dos subsistemas gera produtos diferenciados: o Termodinâmico produz as “ilhas de calor”, ventilação e aumento da precipitação; o Físico-Químico tem como produto a poluição do ar; o Hidrometeorológico, os ataques à integridade urbana. Esses produtos acarretam efeitos diretos, como desconforto e redução no desempenho humano (Termodinâmico); problemas sanitários, doenças respiratórias, oftalmológicas, entre outras (Físico- Químico); problemas de circulação e comunicação urbana (Hidrometeorológico).

Embora esse sistema possa ser decomposto em diversos elementos, as íntimas associações entre tais níveis permitem vincular os elementos em conjuntos de maior afinidade e interação, conquanto nunca se possa, em verdade, desincompatibilizá-los completamente uns dos outros (MONTEIRO, 1976: 125).

O presente estudo enquadra-se dentro do subsistema Físico-Químico, que compreende a qualidade do ar. De acordo com Monteiro (2003), no subsistema físico-químico, a atmosfera recebe *input* de substâncias – os poluentes – de fontes fixas ou móveis das atividades antrópicas.

Quadro 01 – Sistema Clima Urbano

Caracterização	SUBSISTEMAS		
	Termodinâmico	Físico-Químico	Hidrometeorológico
	CANAIS DE PERCEPÇÃO		
	I Conforto Térmico	II Qualidade do Ar	III Impacto Meteorológico
Fonte	Atmosfera Radiação Circulação horizontal	Atividade urbana Veículos automotores industriais Obras de limpeza	Atmosfera Estados especiais (desvios rítmicos)
Trânsito no Sistema	Intercâmbio de operador e operando	De operando ao operador	Do operador ao operando
Mecanismo de ação	Transformação no sistema	Difusão através do sistema	Concentração no sistema
Projeção	Interação núcleo ambiente	Do núcleo ao ambiente	Do ambiente ao núcleo
Desenvolvimento	Contínuo (permanente)	Cumulativo (renovável)	Episódio (eventual)
Observação	Meteorológica especial (trabalho de campo)	Sanitária e meteorológica especial	Meteorológica Hidrológica (trabalho de campo)
Correlações Disciplinares e Tecnológicas	Bioclimatologia Arquitetura Urbanismo	Engenharia sanitária	Engenharia sanitária e infra-estrutura urbana
Produtos	“Ilhas de calor” Ventilação Aumento de precipitação	Poluição do ar	Ataques à integridade urbana
Efeitos diretos	Desconforto e redução no desempenho humano	Problemas sanitários Doenças respiratórias, Oftalmológica etc.	Problemas de circulação e comunicação urbana
Reciclagem adaptativa	Controle de uso do solo Tecnologia de conforto habitacional	Vigilância e controle dos agentes de poluição	Aperfeiçoamento da infra-estrutura urbana e da regularização fluvial Uso do solo
Responsabilidade	Natureza e Homem	Homem	Natureza

Fonte: adaptado de MONTEIRO, 1976: 127.

Estes, por sua vez, transitam no sistema aberto do clima urbano, onde há troca de matéria e energia, no sentido de operando a operador, difundindo-se do núcleo ao ambiente, misturando-se na troposfera inferior sobre a área urbana, onde se localizam as fontes poluidoras.

A qualidade do ar das cidades não depende somente da quantidade de poluentes lançados pelas fontes emissoras, mas também da forma como a atmosfera age no sentido de concentrá-los ou dispersá-los, por entender-se que o controle dos processos climáticos se organiza dos níveis escalares para os inferiores. De acordo com a concepção de Monteiro (1978), depreende-se que os fenômenos de dispersão e remoção dos poluentes sejam comandados pelas feições regionais da atmosfera (estado, velocidade e direção dos ventos, precipitação), pelos aspectos locais do clima urbano (ilhas de calor e circulação do ar) em consonância com as características da superfície urbana.

Ainda de acordo com Monteiro (2003) a diagnose da poluição atmosférica da cidade requer vários cuidados. Em primeiro lugar certa acuidade na mensuração da qualidade do ar, acompanhada do levantamento das fontes poluidoras. Como produção humana, ela deve ser corrigida na fonte de emissão e não atribuída ao comportamento do ar sobre cujos insumos energéticos o homem não dispõe de controle.

Para Danni-Oliveira (2003), o subsistema físico químico foi estruturado levando-se em conta a conexão existente entre seus elementos geocológicos como o vento, umidade relativa, chuva, topografia e tipos de tempo; e entre os elementos urbanos responsáveis pela presença de contaminantes no ar, decorrentes de emissões veiculares e industrial, do uso do solo e da estrutura urbana da cidade.

Para Zavattini (2009), a dinâmica da poluição se dá em escalas horária e diária, observando-se determinados horários e dias em que ela é maior ou menor. Com o uso do paradigma do rítmico deve-se respeitar tal dinâmica, até que sejam compreendidos os encadeamentos dos tipos de tempo diários relacionados à dinâmica da poluição.

Monteiro (1976) propõe a divisão do espaço geográfico em três escalas de análise: zonal, regional e local. No nível zonal o fator decisivo para a diversificação é a latitude, que num segundo momento influenciará na escala regional, na qual há uma associação entre os centros de ação e os sistemas meteorológicos vinculados a faixas zonais diferentes, que participariam no sentido de produzir uma organização climática, gerada pelos sistemas de circulação atmosférica regional, capaz de manter a organização espacial através do ritmo de sucessão temporal dos seus estados.

A remoção dos poluentes acumulados depende dos estados atmosféricos, que podem ser favoráveis à dispersão da poluição quando há intensos movimentos advectivos

(dinâmica horizontal) e convectivos (dinâmica vertical), ou desfavoráveis quando há estabilidade atmosférica. A qualidade do ar é também beneficiada ou prejudicada por situações em que há expansão ou retração da troposfera, não de matéria.

Assim, em dado lugar, episódios de altos índices de poluição podem ocorrer com duas condições: uma seria aquela em que a emissão de poluentes fosse excepcionalmente elevada, e a outra em que a sucessão de tipos de tempo fosse excepcionalmente prejudicial à dispersão da poluição produzida na metrópole. Ambas as situações remetem ao conceito de ritmo, na climatologia e nas atividades antrópicas, em que o excepcional representa uma anomalia ou deformidade (DANNI-OLIVEIRA, 2003).

A continuidade da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) como fonte de energia para atender as demandas modernas, além de gerar a contaminação do ar nas áreas urbano-indústrias, gera problemas de poluição atmosférica que apresentam sérias repercussões em termos de riscos ambientais (LA ROVERE, 1996). Atualmente, a utilização da eletricidade, do gás natural e de derivados do petróleo que passaram a substituir em grande parte o uso do carvão mineral a um grande número de centros urbanos, particularmente a dos países com industrialização antiga, libertaram-se dos males de um ar carregado de fumaça preta (DANNI-OLIVEIRA, 2000).

Entretanto, com a modernização da indústria, outros e diversificados poluentes passaram a compor o ar das cidades, em decorrência não só do aumento da industrialização mundial, como também da diversidade de novos elementos processados, particularmente nas indústrias químicas e farmacêuticas, como plásticos, fertilizantes, fibras sintéticas, detergentes e pesticidas (POINTING, 1995, p. 589).

Até meados do século XX, pouquíssimas providências foram tomadas para controlar a emissão de poluentes, priorizando-se a produção industrial em detrimento da qualidade e manutenção da vida humana.

1.2 – Clima e Saúde

De acordo com Mendonça (2001), o estudo sobre a relação entre o clima e a saúde humana está entre os campos de investigação da climatologia geográfica. Cajazeira (2012) complementa afirmando que tal relação trata-se de uma antiga, e ainda atual, abordagem de interesse das mais variadas disciplinas, levantando questões, das mais diversas, acerca da relação ambiente/saúde.

De acordo com muitos autores, a Geografia Médica ou da Saúde se originou na Grécia antiga, 480 a.C., tendo como referencial a obra de Hipócrates “Dos ares, das águas e dos lugares”. Para ele, conhecer o ambiente de vida do homem seria o passo inicial para entender a origem das doenças (LACAZ; BARUZZI; SIQUEIRA JÚNIOR, 1972).

Longa foi a trajetória percorrida por tal campo de pesquisa. Depois do estudo de Hipócrates, a discussão entre clima e saúde ganha vida com Aristóteles através da sua obra *Metereológica*, na qual demonstrava a preocupação dos gregos com a atmosfera e a sua influência na vida humana. A extensão do pensamento de Aristóteles chegou ao período das grandes navegações, quando as metrópoles tinham grande interesse em conhecer as colônias, sobretudo as enfermidades ali existentes. Ainda sob a ótica colonialista, os viajantes naturalistas percorreram os continentes colonizados pelos europeus e realizaram levantamentos e descrições sobre as doenças “tropicais”. Dentre os nomes de maior influência destacam-se Humboldt, Martius e Darwin (MAZETTO, 2008).

Após o período colonial, destacam-se as “topografias médicas”, entre os séculos XVIII e XIX, as quais sistematizaram o pensamento higienista, e se caracterizaram pela reunião sistemática de informações acerca da distribuição espacial das doenças em função de fatores físicos e sócio demográfico (BARROS, 2006). Depois das topografias médicas, muitas outras teorias surgiram, entre elas a miasmática². Ainda no século XVIII, surgiram trabalhos como o de Ludwig Finke, “An attempt at a general medicalpractical geography”, em 1792, considerado um marco da Geografia Médica.

Outro trabalho importantíssimo foi produzido em 1843 por J. Bourdin, intitulado “Essai de géographie médicale”, configurando-se como o primeiro a trazer a Geografia Médica explícita no próprio título, mas seguindo a mesma linha dos demais trabalhos ao valorizar os elementos da natureza como condicionantes da saúde humana (CAJAZEIRA, 2012). É válido

² que culpabilizava os pântanos pela geração de vapores de doenças, os miasmas (ABREU, 1997), evidenciando a importância atribuída às condições climáticas no processo saúde-doença.

ressaltar que os fatores climáticos sempre se destacaram frente às discussões, visto que os primeiros trabalhos da Geografia Médica, impregnados pelo viés positivista, centravam suas análises no meio natural ou físico-geográfico, vinculando as doenças às áreas com determinadas características climáticas, culturais, e até mesmo, raciais.

Posteriormente a esses estudos surgiu o trabalho produzido pelo médico e anestesista John Snow, em 1855, em que ele associou aspectos físico/naturais, sociais e locais a fim de entender a distribuição do cólera na Inglaterra, doença de caráter epidêmico que se alastrava pela Europa (MAZETTO, 2008).

Todos esses estudos foram imprescindíveis para a aproximação entre as ciências da saúde e a geografia, uma vez que a Geografia Médica, por volta do século XIX, era um campo de conhecimento predominantemente dos médicos ou sanitaristas. Nesse período as bases da geografia física estavam sendo sistematizadas através de Humboldt, cujo clima aparecia em destaque como reflexo direto das influências do Determinismo Climático que imperava naquele momento (JESUS, 2010). Ressalta-se que a Climatologia Clássica, nascida nesse período, se pautava nos pressupostos de Julius Hann e Wladimir Köppen, com o clima sendo definido como “o estado médio da atmosfera sobre um determinado lugar” (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 14).

Em 1880 os trabalhos dos geógrafos se destacavam no que se refere à geografia médica, em virtude dos estudos realizados pelo francês Maximilien Sorre (1880-1962), seguidor de La Blache e sua Escola Possibilista de Geografia. A climatologia também foi extremamente influenciada com as contribuições de Sorre, pois através dos seus estudos, passou a ser abordada numa perspectiva dinâmica (MENDONÇA, 2000) ao conceituar o clima como a série dos estados atmosféricos acima de um lugar em sua sucessão habitual.

Apesar da importância de Sorre para a Geografia Médica ou da saúde, foram os seus seguidores Jaques May (1950), nos Estados Unidos, René Dubos (1980), na França, Andrew Learmonth e Melvyn Howe, no Reino Unido os responsáveis por difundi-la e reavivá-la nos Estados Unidos e na Europa, introduzindo determinantes sociais e culturais nos processos saúde/doença.

No Brasil, a partir do século XX, muitos pesquisadores procuraram reconhecer os efeitos do tempo e do clima na saúde humana. Na década de 1940, por exemplo, destacaram-se os trabalhos de João de Barros Barreto (1947; 1948) e de Annes Dias (1940), ambos médicos. Na década de 1960, merece destaque o trabalho do meteorologista Adalberto Serra (1961), relacionado à gripe e sua manifestação sob determinadas condições meteorológicas. No entanto, muitos desses estudos se fundamentavam em bases naturalistas, as quais destacavam o clima

como principal elemento ou mesmo o único responsável pelo desencadeamento de enfermidades. Tal fato provocou o abandono desse campo de estudo por longos anos. Entretanto, compreende-se hoje que a inter-relação dos elementos climáticos, junto às características físicas, econômicas, sociais, psicológicas e culturais dos indivíduos, pode se tornar um fator de risco à saúde (SETTE; RIBEIRO, 2011).

Desse modo, a Geografia da Saúde e a Climatologia Médica buscam compreender o processo saúde-doença em sua totalidade, uma vez que as enfermidades resultam de um conjunto de fatores naturais e sociais inter-relacionados (CAJAZEIRA, 2012).

Segundo Mendonça (2000), a saúde humana pode ser fortemente influenciada pelo clima a partir de determinadas condições térmicas, de dispersão de ventos e poluição, bem como de umidade relativa do ar, apresentando assim, relação direta sobre a manifestação de muitas doenças, epidemias e endemias humanas. Ayoade (2006) acrescenta outros fatores, como os índices de insolação, as condições dos ventos e pressão atmosférica, na incidência de doenças que apresentam relação direta com as condições climáticas de um determinado local.

Ayoade (2006) ainda analisa algumas formas pelas quais o clima e as variações climáticas podem exercer influência sobre a saúde humana: em primeiro lugar, o clima afeta a resistência do corpo humano a algumas doenças. Segundo, o clima influencia o crescimento, a propagação e a difusão de alguns organismos patogênicos ou de seus hospedeiros. Temperaturas extremamente baixas diminuem a resistência do corpo a infecção. A neblina associada a poluentes está frequentemente relacionada com o aumento das doenças respiratórias. Similarmente, o ar seco e carregado de pó tende a tornar as vias respiratórias mais susceptíveis à infecção (AYOADE, 2006, p. 291).

Cavalcante (2006) destaca o risco de câncer frente à grande quantidade de poluentes, sobretudo os CCs e o MPR que são lançados na atmosfera, em virtude dos processos de urbanização e industrialização das cidades e suas consequências nas condições ambientais e de vida da população. Tal agravamento contribuiu para que os estudos da Geografia da Saúde ganhassem novas roupagens, evoluindo no plano teórico e apontando novas perspectivas metodológicas, evidenciando as pesquisas voltadas à interação entre o clima e a saúde humana.

1.2.1 – Poluição e doenças respiratórias

Na linha das Ciências Médicas, Gomes (2002) fez uma relação entre o meio ambiente e o pulmão, destacando a poluição atmosférica enquanto elemento principal para as

doenças respiratórias, em conjunto com as condições climáticas, as quais podem intensificar a concentração de partículas. A autora completa também que:

Para além da exposição directa, por inalação das partículas contaminantes do ar ambiente, pode haver exposição indirecta, por inalação de substâncias existentes na água ou em superfícies; a penetração dos poluentes no organismo pode também ser feita por via cutânea ou digestiva (GOMES, 2002, p. 263).

Depreende-se que além das partículas de poluentes no ar, provenientes da intensa urbanização, as quais corroboram para as doenças respiratórias, podem-se inalar elementos químicos a partir da alimentação e da água. Isso é bem comum em regiões com problemas de saneamento básico e infraestrutura, embora as doenças respiratórias se deem em locais de alto ou baixo índice de vulnerabilidade socioambiental.

Conceição (2003) define as doenças do aparelho respiratório como sendo todas aquelas que atingem qualquer parte ou o todo do trato respiratório, seja na sua porção superior ou inferior, podendo ser infecciosas (por vírus e bactérias) ou não. O trato respiratório superior é constituído pela cavidade nasal, faringe e a laringe, enquanto o inferior é formado pela traqueia, brônquios, bronquíolos e pulmões. Segundo Souza (2007), a função principal do sistema respiratório é garantir as trocas gasosas com o meio, ou seja, a entrada e saída de ar no organismo, configurando-se como um dos sistemas do corpo humano de maior interação com o meio ambiente.

Cajazeira (2012) destaca que, em média, um adulto respira pela via nasal entre dez e quinze mil litros de ar por dia. Além de permitir a respiração, função vital a todo ser humano, o sistema respiratório é responsável por ajudar na regulação da temperatura corpórea e do pH do sangue, na liberação de água, além de regular e filtrar materiais estranhos, provenientes do ambiente exterior. Os mecanismos de defesa, em condições normais, são capazes de impedir ou atenuar os efeitos nocivos ao aparelho respiratório causados por substâncias estranhas, ou até mesmo, por pequenas alterações na temperatura ou umidade (SOUZA, 2007).

Ressalta-se, assim, a difícil mensuração dos efeitos do clima sobre as doenças respiratórias visto que se encontram superpostos diversos outros fatores que podem interferir em sua incidência, dos quais, também é importante lembrar, o papel da predisposição individual às respostas para as mudanças do tempo atmosférico. Variações climáticas bruscas, por exemplo, também auxiliam para deteriorar a qualidade do ar respirado, dificultando a dispersão dos poluentes na atmosfera e agravando ainda mais as afecções do trato respiratório.

As doenças respiratórias, quando acometem crianças e idosos, representam um grave problema de saúde pública no mundo inteiro. As crianças, de acordo Brandão e Russo (2000), são bem vulneráveis aos efeitos da poluição atmosférica, pois entre outros motivos, está a baixa estatura, fazendo com que elas respirem, em grande quantidade, os poluentes que são emitidos junto ao solo, como é o caso dos canos de descarga dos veículos ou no caso de aerossóis quando estão envolvidos gases ou vapores de alta densidade. Já os idosos são bem sensíveis às doenças respiratórias. Importantes marcadores dos diagnósticos de doenças respiratórias são as Infecções Respiratórias Agudas (IRA). Botelho *et al* (2003) destacam os fatores ambientais, como a poluição do ar e as variáveis climáticas, como alguns dos fatores determinantes para o aumento dos casos e da gravidade da IRA.

No Brasil, o agravamento dos problemas respiratórios acontece nos períodos de outono e inverno, particularmente em razão das oscilações na umidade relativa do ar e temperatura, e o baixo índice de precipitação. Poucas chuvas promovem queda na umidade relativa do ar, ressecando as mucosas nasais, propiciando irritações nas vias aéreas superiores (SOUZA, 2007). A carência de chuvas evidenciada na RMF, no período seco, contribui para um aumento de alérgicos, poeiras, fumaças e outros materiais particulados em suspensão no ar, sobretudo a partir de novembro quando a velocidade dos ventos diminui.

Além do estudo de Gomes (2002), destaca-se também outros estudos realizados no Brasil sobre a relação clima e saúde, como o de Souza (2007). Esse autor analisou a influência dos fatores climáticos urbanos de Presidente Prudente, na incidência de casos de doenças do aparelho respiratório. Tal autor considerou em sua pesquisa a correlação entre a gênese, periodicidade e o ritmo climático com os índices de morbidade hospitalar.

Para tanto, Souza (2007) cruzou dados como: a evolução do desmatamento, os focos de queimadas, caracterização dos diferentes poluentes do ar com as notícias locais, relacionadas ao clima da cidade e à incidência de doenças respiratórias. Com isso, observou aumento no número de internações por doenças respiratórias nos períodos em que o total pluviométrico mensal da cidade diminuía, apontando tal elemento climático como o de correlação mais significativa com os agravos respiratórios.

Observa-se que a precipitação indica estado de instabilidade atmosférica, cujos movimentos favorecem a dispersão de poluentes e remoção de partículas em suspensão no ar através das águas da chuva. Além disso, a precipitação também favorece a umidade dos solos, impedindo a re-suspensão dessas partículas para a atmosfera.

Outro estudo que se destaca é o de Castilho (2006). Tal estudo foi realizado na cidade de São José do Rio Preto, e propôs relacionar as peculiaridades climáticas regionais com

a incidência de doenças respiratórias. Por meio desse estudo, verificou-se que em atuações da Massa Tropical Atlântica (mTa), tanto no verão como no inverno, caracterizada por produzir condições de aumento de temperatura e queda na umidade relativa do ar, houve um considerável aumento de enfermos. Situação agravada pelas queimadas, no meio rural local, durante o período de safra da cana, que pioram as condições atmosféricas, com o aumento da poeira e fuligem suspensas na atmosfera.

Castro (2000), além de analisar a influência da poluição do ar na cidade de Rio Claro - SP sobre a incidência de doenças respiratórias, associou os tipos de tempo que ocorrem durante o inverno. O referido autor utilizou as variáveis meteorológicas e de poluição do ar, além dos dados de morbidade respiratória, dos invernos de 1995 a 1997. A análise rítmica foi a abordagem adotada pelo autor. Dessa forma o estudo mostrou que os tipos de tempo caracterizados pela atuação das massas de ar polar e tropical atlântica exacerbaram os índices de morbimortalidade por afecções respiratórias.

Já Bakonyi (2009) partiu da hipótese que as condições ambientais e socioeconômicas de Curitiba - PR repercutiriam no agravamento das patologias respiratórias de sua população. Para tanto, a autora analisou uma série de fatores sociais, econômicos e ambientais que pudessem contribuir para o desencadeamento de doenças respiratórias na cidade, dentre eles a influência das condições climáticas através dos elementos temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar e pluviosidade; qualidade do ar, através da influência da industrialização e da frota automobilística do município; além das contribuições do fator Renda Per Capita e Grau de Escolaridade da população observada. A pesquisa agregou diferentes metodologias com enfoque em análises estatísticas, na busca de diferenças de morbimortalidade respiratória por gênero e idade (0 a 4 anos e 65 anos ou mais).

A série analisada compreende o período de janeiro de 1995 a dezembro de 2005. Esse trabalho constatou que, para as faixas etárias pesquisadas de ambos os gêneros, a variação positiva de 1° C na temperatura do ar favorece queda em termos de morbidade respiratória. Do mesmo modo, age a precipitação que, quando aumentada, também induz queda na morbidade por doenças respiratórias. Os modelos estatísticos utilizados apresentaram também a velocidade dos ventos como fator significativo na queda dos índices das referidas morbidades, o que se justifica por sua atuação dispersora dos contaminantes do ar. Identificou-se ainda que as condições inadequadas de saneamento, a baixa renda familiar, e o baixo grau de escolaridade se apresentaram como fatores de risco para as Doenças Respiratórias.

Cajazeira (2012) objetivou identificar e caracterizar, espaço-temporalmente, possíveis associações entre as condições climáticas de Maracanaú - CE, e a incidência de

doenças respiratórias em sua população entre os anos 2000 e 2010. Para tal, foram obtidos dados de internações hospitalares por doenças do aparelho respiratório, além de dados referentes às variáveis climatológicas. Esses dados foram correlacionados através de gráficos e testes estatísticos de correlação e regressão linear.

Os testes estatísticos apontaram a existência de associações entre alguns dos elementos climáticos analisados e as internações, no entanto tais correlações não se mostraram significativas o suficiente para se concluir uma relação linear entre as variáveis. A autora também confeccionou mapas de distribuição espacial das doenças que apontaram alguns setores municipais que apresentam maior concentração de internações.

Além disso, o estudo apontou a existência de determinados padrões entre os anos analisados, revelando significativa sazonalidade dos casos de morbidade por doenças respiratórias. Através da pesquisa verificou-se que o maior número de internações por Doenças do Aparelho Respiratório (DAR) ocorreu entre os meses de maio e setembro, referentes ao final de outono e inverno. Esse período caracteriza-se por chuvas em menor frequência, umidade relativa do ar sofrendo maiores variações e pequenos, porém significativos, decréscimos nas médias de temperatura, apresentando os valores mais baixos do ano.

É importante mencionar dois estudos realizados em Portugal, os quais consideraram a relação clima e saúde atrelados, entre outros fatores, à poluição atmosférica.

Monteiro (1999) listou uma série de fatores climáticos relacionados diretamente com a incidência de crises asmáticas e brônquicas em crianças na região do Porto, Lisboa. Dentre esses fatores o trabalho destacou, principalmente, a influência da enorme variabilidade térmica (nas mínimas e nas máximas), além dos demais elementos: aumento da pressão atmosférica; diminuição na velocidade dos ventos predominantes; ausência de precipitação; aumento da umidade relativa e da nebulosidade; frequência de situações de estabilidade atmosférica; poluição atmosférica acima dos valores tolerados associadas à formação de ilhas de calor.

Azevedo (2010), por meio de um estudo ecológico, procurou identificar os impactos causados pela poluição atmosférica e das variáveis meteorológicas sobre a saúde da população da Área Metropolitana do Porto (Portugal). O período de análise corresponde aos anos de 2002 a 2005. Os dados envolvidos na pesquisa foram de admissões hospitalares por doenças cardiovasculares e respiratórias, dados de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, pressão atmosférica, valores diários e mensais do índice de Oscilação do Atlântico Norte, além de informações de 10 estações fixas de qualidade do ar (O₃; NO₂, NO, CO, SO₂, PM₁₀, PM_{2,5}). A pesquisa identificou períodos de temperaturas elevadas (38°C) durante o verão e

inversões térmicas durante o inverno, as quais criaram situações de estresse térmico por calor e muito frio, por um lado, e aumento da poluição, por outro. Essas associações contribuíram para um maior número de casos por doenças respiratórias por Asma/bronquite, doenças Cardíacas Hipertensivas e Insuficiências Cardíacas.

Por fim, verifica-se através desses e outros estudos realizados no mundo todo, que os elementos climáticos associados a outros fatores, como a urbanização, o aumento do fluxo de veículos circulando pelas vias e a industrialização contribuem para o aumento de doenças, não só aquelas relacionadas ao sistema respiratório como as asma, as bronquites, mas também ao risco de câncer, discutido brevemente nesta pesquisa. Monteiro (2003) aponta que o subsistema físico-químico é de responsabilidade do homem, cabendo a este, através de vigilância e agentes de poluição mitigar os efeitos provocados pela urbanização.

1.3 - Poluição e qualidade do ar nas cidades

Durante muitos séculos, o homem e a natureza viveram em relativa harmonia. A concentração populacional não era um fato preocupante e os recursos eram suficientes para a sobrevivência humana. Contudo, nos últimos séculos, por conta do modo de produção capitalista e, conseqüentemente, da maciça industrialização, as cidades tornaram-se densamente habitadas.

Segundo Braga *et al* (2002), tem-se assistido ao apogeu da intervenção do homem sobre o planeta, com o surgimento dos motores a combustão, com a queima de combustíveis fósseis, com o surgimento das indústrias siderúrgicas e de produtos químicos. No entanto, esses processos não foram acompanhados de análises que pudessem avaliar seu impacto sobre o meio ambiente e os prováveis danos à saúde.

Desde meados do século passado, a sociedade tem se deparado com os resultados desastrosos desse processo desordenado e tentado evitar seus efeitos deletérios para o planeta e seus habitantes. O ar atmosférico é um dos elementos naturais que mais têm sido agredido pelo homem, indispensável para a vida, uma vez que não se pode deixar de respirar.

De acordo com Braga *et al* (2002), as primeiras preocupações com a qualidade do ar apareceram na era pré-cristã, devido ao uso do carvão como combustível. As cidades dessa época já ostentavam ares de qualidade aquém do desejável. Essa situação veio se agravando durante os primeiros séculos da história pós-cristã, quando os primeiros atos de controle de emissão de fumaça foram baixados na Inglaterra do final do século XIII.

Segundo Danni-Oliveira (2000), o caso mais antigo de poluição do ar urbano foi justamente em 1283, numa cidade inglesa, chamada Nottingham, onde formaram-se, ao longo daquele ano, frequentes nuvens de fumaça preta provenientes da queima de carvão mineral utilizado no aquecimento das residências.

A poluição do ar tem sido, desde a primeira metade do século XX, um grave problema nos centros urbanos industrializados, com a presença cada vez maior dos automóveis, que somados às indústrias, atuam como fontes poluidoras. Episódios de poluição excessiva causaram aumento do número de mortes em algumas cidades da Europa e Estados Unidos.

Segundo Braga *et al* (2002) e Braga *et al* (2005), outros episódios críticos acerca dos efeitos deletérios dos poluentes do ar teriam ocorrido:

- ❖ Em 1930, no vale de Meuse, Bélgica, entre as cidades de Huy e Liège, uma região com grande concentração de indústrias. Nos cinco primeiros dias do mês de dezembro, condições meteorológicas desfavoráveis, como a ausência de ventos, impediram a dispersão dos poluentes, que permaneceram estacionados sobre a região. Imediatamente foi registrado um aumento do número de doenças respiratórias e um excesso de mortes (60 mortes) até dois dias após o início do episódio;
- ❖ Em 1948 durante um episódio de forte poluição, dos 14.000 habitantes da cidade de Donora - Pensilvânia, Estados Unidos, morreram 17 pessoas e 6.000 apresentaram problemas respiratórios e forte irritação nos olhos, devido à presença de material particulado e dióxido de enxofre no ar, provenientes de fábricas de ácido sulfúrico e de beneficiamento de zinco;
- ❖ Em novembro de 1950, na cidade de Poza Rica-México, devido uma inversão térmica, compostos de enxofre foram emitidos pela refinaria de petróleo e tratamento de gás natural, causando 32 mortes e levando 30 pessoas aos hospitais com problemas nervosos e respiratórios;
- ❖ Em Londres, quando no inverno de 1952, um episódio de inversão térmica impediu a dispersão de poluentes, gerados então pelas indústrias e pelos aquecedores domiciliares que utilizavam carvão como combustível, e uma nuvem, composta principalmente por material particulado e enxofre (em concentrações até nove vezes maiores do que a média de ambos), permaneceu estacionada sobre a cidade por aproximadamente três dias, levando a um aumento de 4.000 mortes em relação à média de óbitos em períodos semelhantes;

- ❖ No Brasil, o exemplo mais crítico de poluição ocorreu na cidade de Cubatão-SP, onde a política de desenvolvimento, iniciada nas décadas de 60 e 70, permitiu a instalação do maior complexo petroquímico sul-americano. Até hoje os problemas de dispersão dos poluentes degradam o ambiente e agravam as precárias condições de vida da população residente;
- ❖ Em Nova York ocorreram três episódios nefastos, acontecidos em novembro de 1953, janeiro de 1963 e em novembro de 1966, gerando cada um deles cerca de 200 mortes.

Indiscutivelmente, esses e outros trágicos episódios direcionaram os olhos dos pesquisadores para a necessidade de se buscar o controle da emissão de poluentes do ar. Em consonância com Braga *et al* (2002), em 1955 o Congresso norte-americano liberou cinco milhões de dólares para a realização de estudos sobre o impacto da poluição atmosférica sobre a saúde e a economia. Ações de controle ambiental não eram a pauta de discussão até aquele momento. Só a partir do início da década de 60, foi criado um programa federal de poluição atmosférica, ligado ao Departamento de Saúde Educação e Bem-Estar Social dos Estados Unidos da América (EUA).

Dentro desse programa, destaca-se: O Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH), que é a agência federal dos EUA responsável pela realização de pesquisas e produção de recomendações para a prevenção de lesões e doenças relacionadas com o trabalho, desde 1970. O NIOSH faz parte do Centro de Controle e Prevenção de Doenças dentro do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos, no qual também são delimitados limites máximos permitidos a trabalhadores que se expõem durante suas jornadas de trabalho a CCs, como formaldeído e acetaldeído (NIOSH, 2010).

Além do NIOSH, destaca-se a: Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA), que é uma agência do Departamento do Trabalho dos Estados Unidos. Ela foi criada pelo Congresso dos Estados Unidos sob o Ato de Segurança e Saúde Ocupacional, assinado pelo Presidente Richard M. Nixon, em 29 de dezembro de 1970. Sua missão é impedir acidentes do trabalho, doenças e acidentes mortais no trabalho através da emissão e aplicação de regras chamadas normas de segurança e saúde no trabalho. A OSHA, assim como a NIOSH, estabelece limites para a exposição dos trabalhadores a poluentes, como os CCs (OSHA, 2009).

Ainda segundo Braga *et al* (2002), o programa de poluição delegou a responsabilidade do controle da emissão dos diversos poluentes atmosféricos aos Estados da Federação, ficando a cargo do Governo Federal somente o estabelecimento das diretrizes

necessárias para efetuar e viabilizar esse controle. Contudo, tal medida mostrou-se ineficaz, já que vários estados não estavam preparados e estruturados para a realização dessas ações controladoras. Aconteceram, assim, os episódios nefastos já mencionados anteriormente, para que se decretasse estado de emergência.

Diante de novos episódios, ainda na década de 60, os Estados Unidos estabeleceram padrões de qualidade do ar, especificando os seis poluentes atmosféricos que seriam controlados, quais sejam: partículas totais, dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃) e chumbo (Pb).

A fim de efetivar esse controle, criou-se a Agência de Proteção Ambiental norte-americana (EPA). Várias medidas de controle foram, então, implantadas, visando não só atingir as fontes de emissão móveis, como também as estacionárias. Em 1990, foram conferidos à EPA poderes para determinar os critérios técnicos de controle das substâncias tóxicas, com base nos seus efeitos à saúde. Vários estudos epidemiológicos e experimentais contribuíram consideravelmente para a implantação desses controles, bem como para a elaboração de manuais de orientação. Porém, ainda que aprimoradas ao longo dos anos, tais medidas de controle não foram suficientes. Em 1991, aproximadamente oitenta e sete milhões de pessoas nos Estados Unidos permaneciam expostas a níveis superiores aos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela legislação norte.

Na Europa, o desenvolvimento de ações controladoras também foi bastante influenciado pelo episódio ocorrido em 1952 na cidade de Londres. O Parlamento Inglês, em 1956, atribuiu às autoridades locais o controle das áreas de maior risco da ocorrência de acúmulo de fumaça preta emitida pelas chaminés das residências, obrigando a troca do sistema a carvão por eletricidade, gás ou óleo diesel. Para tanto, o governo forneceu os subsídios necessários para a mudança dos sistemas de calefação para esses tipos de combustível.

Os “Clean Air Acts” de 1956 e 1968 também ampliaram os controles de emissão de poluentes atmosféricos industriais, regulamentando as emissões de óxidos de enxofre e fumaça preta. Houve uma grande resistência por parte do setor industrial em cumprir as metas de adequação e diminuição da quantidade de emissão desses poluentes.

De acordo com Braga *et al* (2002), ao longo dos anos, as concentrações dos poluentes foram decrescendo nas grandes cidades inglesas, em parte em função de um controle social mais efetivo, mas também em decorrência do ingresso da Inglaterra no Mercado Comum Europeu. A Comunidade Europeia, já no início dos anos 70, demonstrou através de propostas e discussões de medidas de controle, estar suficientemente convencida da existência de danos à saúde causados pelas altas concentrações de poluentes atmosféricos. Esse fator foi

fundamental para que a Inglaterra, com a sua inserção junto à Comunidade Europeia em 1973, fosse obrigada a adequar-se à legislação no que tange ao controle ambiental.

Em 1976, uma comissão de países europeus (Comission of the European Communities-CEC) estabeleceu padrões de qualidade do ar para SO₂, CO, NO₂, material particulado e oxidantes fotoquímicos. Esses padrões foram sendo aprimorados ao longo dos anos, subsidiando as legislações dos diversos países europeus de uma maneira uniforme. À medida que os países desenvolvidos foram aperfeiçoando formas de controle ambiental, várias indústrias passaram a migrar para países onde a legislação e o controle fossem mais amenos ou mesmo inexistentes.

Ainda em consonância com Braga *et al* (2002), entre as décadas de 60 e 70, inúmeros países periféricos economicamente ávidos por novas fontes de recursos e desenvolvimento, receberam indústrias multinacionais de produtos de base, principalmente na área petroquímica. Muitas dessas indústrias tinham como sede países onde a legislação ambiental determinava que altos investimentos em tecnologia fossem efetivados, principalmente para a prevenção de possíveis acidentes ambientais.

Esse mesmo autor também destaca que outros episódios envolvendo o aumento das concentrações de poluentes atmosféricos continuaram a ocorrer, mas dessa vez, nos países em desenvolvimento. Bhopal, na Índia, ilustra um desses episódios, ocorrido na década de 80. Na noite de 3 de dezembro de 1984, um grande vazamento de metil-isocianato (MIC) proveniente da Union Carbide, indústria localizada próxima à cidade, causou a morte de, pelo menos, 1.700 pessoas devido a um intenso edema pulmonar (acúmulo de líquido no pulmão) causado pela reação exotérmica do MIC com a água do tecido pulmonar. Além das mortes, milhares de pessoas ficaram com sequelas graves, com comprometimento irreversível da função do pulmão.

Ao longo deste século desastres ambientais continuaram ocorrendo, não obstante todos os conhecimentos acumulados acerca dos prejuízos e altos custos sociais. Mesmo nos países desenvolvidos, onde o controle ambiental é mais efetivo, existe uma contínua discussão crítica sobre os efeitos da poluição atmosférica, mesmo naquelas concentrações consideradas “seguras” pela legislação. Observa-se, também, que o rápido crescimento urbano nos países em desenvolvimento fez com que as fontes móveis ou veiculares se tornassem um problema de grande magnitude, devido ao número e estado de conservação destes veículos, muitas vezes sem o controle necessário quanto à qualidade do combustível, dos motores e mecanismos de filtragem dos gases emitidos pelos mesmos.

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criado em 1981, vinculado ao Instituto Brasileiro de Meio ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis –

IBAMA, é o órgão federal que atualmente dispõe sobre as normas de monitoramento e controle da poluição do ar, como também dos padrões de qualidade que devem ser seguidos. A legislação federal define e regulamenta os padrões de qualidade do ar apontados na Resolução nº 3 de 26/6/90 – CONAMA. Os parâmetros indicadores da qualidade do ar, apontados na Resolução, correspondem às partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre – SO₂, monóxido de carbono – CO, ozônio – O₃ e dióxido de nitrogênio – NO₂.

Destaca-se, abaixo, algumas resoluções do CONAMA pertinentes a este trabalho:

- ✓ nº 18/1986 - Institui o Programa de Controle de Poluição por Veículos Automotores – PROCONVE;
- ✓ nº 05/1989 – Cria o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR;
- ✓ nº 03/1990 - Estabelece os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar para: Partículas Totais (PTS), Partículas Inaláveis (MP₁₀), Fumaça, Dióxido de Enxofre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrogênio (NO₂) e Ozônio (O₃);
- ✓ nº 08/1990 - Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes do ar para processos de combustão externa em fontes novas fixas;
- ✓ nº 272/2000 - Apresenta os níveis de ruído dB(A) de acordo com o tipo de veículo;
- ✓ nº 315/2002 - Dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle de Emissões Veiculares-PROCONVE;
- ✓ nº 403/2008 -Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE para veículos pesados novos (Fase P-7) e dá outras providências;
- ✓ nº 415/2009 - Dispõe sobre nova fase (PROCONVE L6) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário;
- ✓ nº 418/2009 - Estabelece prazo para que os órgãos estaduais e municipais de meio ambiente apresentem o seu Plano de controle de poluição veicular – PCPV.

Os padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo CONAMA são divididos em dois tipos, os Padrões Primários e os Padrões Secundários. Padrões Primários são concentrações de poluentes que, se ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em meta de curto prazo. Padrões Secundários são as concentrações de poluentes abaixo das

quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

Os padrões secundários de qualidade do ar são mais exigentes e foram estabelecidos com o objetivo de criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Assim, eles devem ser aplicados a áreas de preservação, como parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas e etc. Já os padrões primários são um pouco mais flexíveis e devem ser aplicados a áreas em desenvolvimento, como os centros urbanos (SILVA, 2011).

Ainda no Brasil, destaca-se a Norma Regulamentadora 15 - Atividades e Operações Insalubres, a qual descreve as atividades, operações e agentes insalubres, inclusive seus limites de tolerância, definindo assim, as situações que, quando vivenciadas nos ambientes de trabalho pelos trabalhadores, ensejam a caracterização do exercício insalubre, e também os meios de proteger os trabalhadores de tais exposições nocivas à sua saúde. A fundamentação legal, ordinária e específica, que dá embasamento jurídico à existência desta NR, são os artigos 189 e 192 da Consolidação das Leis Trabalhistas – CLT. Ressalta-se que o anexo XI³ dessa norma prevê limites máximos de exposição a agentes químicos, como é o caso do formaldeído.

Apesar dos esforços brasileiros, há nos países desenvolvidos uma preocupação crescente com o aprimoramento de estudos usando os mais variados modelos e tendo como meta elucidar todo e qualquer questionamento. Vale ressaltar que, em tais países, o número de estudos sobre poluição atmosférica e seus efeitos deletérios à saúde tem crescido vertiginosamente ao longo das últimas décadas, influenciando e muito nas políticas públicas de controle ambiental.

O clima urbano, especialmente a qualidade do ar, deve ser estimada enquanto componente de qualidade do ambiente e, conseqüentemente, de fundamental importância para a qualidade de vida nesse meio, já que as alterações no clima urbano podem afetar diretamente a saúde e bem-estar humanos. Com relação ao comportamento do clima no meio urbano, Monteiro (1996, 2003) destaca dentro do SCU três canais de percepção humana, sendo: o conforto térmico, a qualidade do ar e os impactos meteóricos, de modo que estes quando alterados são capazes de afetar a vida urbana.

³ O anexo XI intitula-se: agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho (NR 15).

No tocante à qualidade do ar, vários são os efeitos causados pela poluição atmosférica à saúde humana, à vegetação e também às edificações. São eles:

- ❖ **Saúde humana:** *Irritantes pulmonares* – atacam pulmões e o trato respiratório (Ox, SOx, Clx, Nox); *Asfixiantes* – causam asfixia quando em grandes quantidades (CO, HxS); *Cancerígenos* – câncer no pulmão (amianto, alcatrão), câncer no nariz (cromo);
- ❖ **Vegetação:** Alteram a fotossíntese e destroem folhas (NOx, SOx, particulados);
- ❖ **Edificações:** Corroem metais, atacam mármore e paredes (SOx, Clx, NOx).

Além desses efeitos, existem também os agravantes da poluição atmosférica como: inversão térmica, depleção da camada de ozônio, efeito estufa, chuva ácida, *smog*, dentre outros. Logo, a percepção e a conscientização em relação aos problemas urbanos e ambientais na RMF torna-se imprescindível, pois o ritmo acelerado e desordenado de crescimento populacional (2.984.689 habitantes) a frota de veículos circulantes mais que duplicou de 2002 para 2016 (DENATRAN), e a concentração industrial no município de Maracanaú, já conurbado à Fortaleza, podem trazer sérios danos a qualidade do ar desta região.

1.4 – Fontes e tipos de contaminantes

A poluição do ar é um fenômeno decorrente principalmente da atividade humana em vários aspectos dentre os quais destacamos o crescimento populacional, industrial e os hábitos da população. Apesar de sentida há muito tempo, foi principalmente na segunda metade do século XX que a poluição do ar assumiu destaque entre a população e junto à comunidade técnico-científica.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), quase metade da humanidade vive nas cidades e, no Brasil, a taxa de urbanização alcança os 75% (IBGE, 2010). A concentração das pessoas nos processos produtivos nos centros urbanos tem como principal consequência o aumento da poluição a proporções espantosas.

As fontes poluidoras do ar, classificam-se em:

- ❖ **Naturais:** cinzas e gases de emissões vulcânicas, tempestades de areia e poeira, decomposição de animais e vegetais, partículas e gases de incêndios florestais,

poeira cósmica, evaporação natural, odores e gases da decomposição de matéria orgânica, maresia dos mares e oceanos;

- ❖ **Antropogências:** fontes industriais, fontes móveis (veículos a gasolina, álcool, diesel e gnv), queima de lixo a céu aberto e incineração de lixo, comercialização e armazenamento de produtos voláteis, queima de combustíveis na indústria e termoeletricas, emissões de processos químicos.

Verifica-se, no Quadro 02, as principais fontes e os poluentes oriundos dela.

Quadro 02 – Relação dos principais poluentes atmosféricos

PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS	
Fontes	Poluentes
Combustão	Material Particulado, óxidos de enxofre, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos
Processos Industriais	Material Particulado, óxidos de enxofre, gás sulfídrico, mercaptanas, fluoretos, ácido clorídrico, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos
Queima de Resíduos Sólidos	Material Particulado, óxidos de enxofre, ácido clorídrico, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos
Veículos Automotores, Motocicletas, Locomotivas, Aviões	Material Particulado, monóxido de carbono, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, aldeídos, ácidos orgânicos
Naturais	Material Particulado, dióxido de enxofre, gás sulfídrico, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos
Reações Químicas na atmosfera	Ozônio, aldeídos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos

Fonte: CETESB,1994.

Os contaminantes também podem ser classificados em duas categorias:

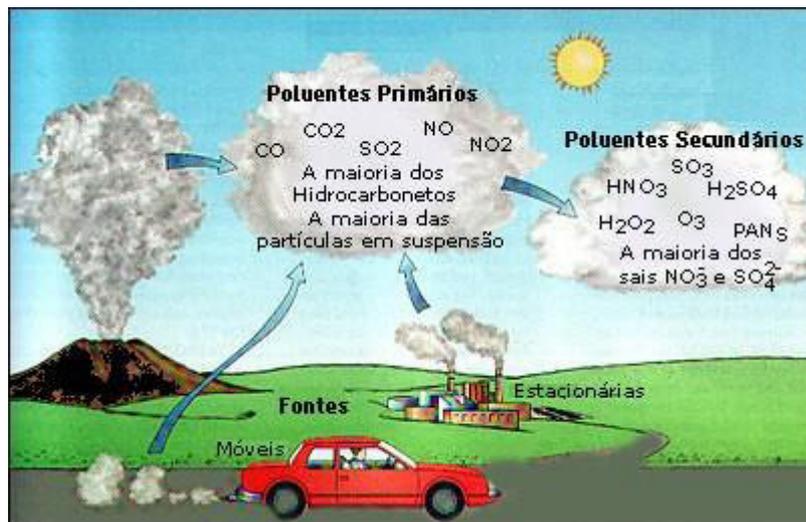
- ❖ **Poluentes primários:** aqueles diretamente emitidos pelas fontes de poluição;

- ❖ **Poluentes secundários:** aqueles formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e os constituintes naturais da atmosfera.

Os poluentes primários, depois de emitidos para a atmosfera, passam a estar submetidos a processos complexos de transporte, mistura e transformação fotoquímica, que dão origem a uma distribuição variável das suas concentrações na atmosfera, tanto no espaço como no tempo. Basicamente, a distribuição das concentrações de poluentes na atmosfera depende das condições meteorológicas, podendo alguns poluentes ser transportados a longas distâncias, antes de atingirem o nível dos solos (DANNI-OLIVEIRA, 2003).

Dado que a formação de poluentes secundários (FIGURA 02), tais como o ozônio, necessita de um certo tempo, e ocorre à medida que as massas de ar se deslocam, é normal que concentrações elevadas desses poluentes atinjam áreas mais afastadas das fontes de emissão que os poluentes primários (SEINFELD,1986).

Figura 02 – Formação dos poluentes secundários



Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/1241631/>

À exceção das cidades majoritariamente industriais, as demais têm nos veículos sua maior fonte poluidora do ar. Mage *et al.* (1996), estudando 20 megacidades, a maioria de países em desenvolvimento e subdesenvolvidos, detectou que o tráfego de veículos é a maior fonte de poluição em 10 delas, São Paulo é um exemplo.

Ainda de acordo com Mage *et al.* (1996), a crescente frota de veículos no mundo e os problemas ainda não solucionados de controle das emissões dos motores veiculares são os grandes responsáveis pelo fato de os automóveis serem as principais fontes de contaminantes

do ar nas grandes cidades. Em alguns países, como por exemplo na Inglaterra, as emissões estão sendo reduzidas. No entanto, os veículos⁴ ainda são responsáveis por 40% das emissões de material particulado nesse país.

A crescente motorização individual que caracteriza o estilo de vida urbano dos dias atuais, somada aos problemas decorrentes da redução da velocidade nos deslocamentos e, conseqüente, aumento do tempo no percurso têm proporcionado o aumento das emissões de poluentes, como é o caso de Fortaleza.

Segundo Danni-Oliveira (2000), o teor de emissões desses poluentes está condicionado a uma série de características relacionadas a este processo, como:

- ❖ a regulagem do motor, a maneira do veículo ser conduzido, e a calibragem dos pneus, que em conjunto podem reduzir a taxa de emissões em até 40%;
- ❖ a presença de conversores catalíticos e ignição eletrônica (redução em cerca de 90% dos gases);
- ❖ a qualidade e o tipo do combustível utilizado (taxas de enxofre no petróleo, por exemplo).

Entre essas características, a principal se refere ao tipo de combustível empregado no motor. Os motores veiculares são divididos em dois grupos de acordo com o tipo de combustível utilizado: Ciclo Diesel, doravante (CD) e Ciclo Otto, doravante (CO). O primeiro corresponde ao óleo diesel e o segundo a gasolina ou álcool. Além das características químicas dos combustíveis, há também a mistura do ar que irá provocar a combustão.

Os veículos movidos a diesel têm sua combustão realizada com excesso de ar, denominada mistura pobre, diferentemente dos de ciclo Otto, chamada de mistura rica, pois a proporção de combustível é maior do que a quantidade de ar. Os movidos a diesel emitem cerca de 100 vezes mais material particulado do que os demais.

⁴ Dos quais 90% são de procedência dos motores a diesel.

1.5 – Os contaminantes em análise: Material Particulado Respirável e Compostos Carbonílicos, e seus efeitos na saúde humana

O nível da poluição do ar ou da qualidade do ar é medida pela quantificação das substâncias poluentes presentes nesse ar. O conceito adotado como referência para poluente do ar obedece a definição da CETESB, a qual considera:

(a concentração de) qualquer substância presente no ar (bem como a emissão de energia) possam torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CETESB, 1996, p. 10).

A queima do combustível fóssil, proveniente de atividades industriais e de automóveis gera para atmosfera tanto gases como partículas que comprometem a qualidade do ar respirável, como por exemplo: MPR e CCs.

1.5.1 - *Material Particulado Respirável*

As partículas sólidas ou líquidas emitidas por fontes de poluição do ar ou mesmo aquelas formadas na atmosfera são denominadas de material particulado, e quando dispersas no ar, formam os chamados aerossóis atmosféricos (ALMEIDA, 1999).

Quanto à origem, podem ser provenientes tanto de fontes naturais (vulcões, partículas do solo, pólenes), como antropogênicas (atividades industriais, emissões veiculares e queimadas) (KAUR *et al.*, 2007). Podem ainda ser emitidas por essas fontes, classificando-se em primárias e secundárias. Essas partículas variam consideravelmente em tamanho, morfologia, composição química e propriedades físicas (ALMEIDA, 1999).

As primárias são compostas por materiais emitidos diretamente na atmosfera, enquanto que as secundárias são formadas por vapores condensados pela reação química envolvendo precursores da fase gasosa ou de outros processos. As secundárias compõem a maior parte da poluição por partículas finas (US-EPA, 1996).

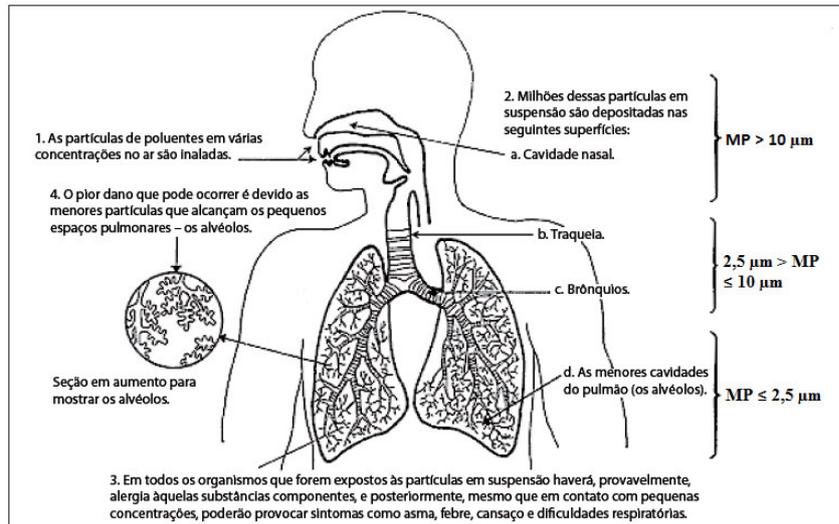
O material particulado total (MPT), ou partículas totais em suspensão (PTS), é composto por partículas grossas ($2,5 \mu\text{m} > \text{MP} \leq 10 \mu\text{m}$), emitidas principalmente por fontes naturais e são compostas de sulfatos, amônia, carbono elementar, metais, ácido nítrico e compostos orgânicos semivoláteis e não-voláteis; e por partículas finas ($0,1 \mu\text{m} > \text{MP} \leq 2,5 \mu\text{m}$)

e ultrafinas ($MP \leq 0,1 \mu\text{m}$), emitidas principalmente por fontes antropogênicas e são compostas por óxidos de silício, de alumínio, de cálcio, de magnésio e de ferro e partículas orgânicas biogênicas (POWER *et al.*, 2009; US-EPA, 2012).

O tamanho da partícula também pode variar em decorrência de seu tempo de atuação na atmosfera, significando que quanto mais tempo permanecer em suspensão, maiores as chances de crescimento por processos de coagulação. Comumente, as partículas grosseiras são geradas pela vaporização da fase gasosa a elevadas temperaturas ou por meio de reações químicas na atmosfera. Seu crescimento pode ocorrer por nucleação e/ou condensação.

As partículas grossas são chamadas de inaláveis e as finas e ultrafinas são chamadas de respiráveis. As inaláveis (MP_{10}) são encontradas próximo a rodovias e indústrias. Estas partículas são menos perigosas à saúde humana pois são depositadas mais rapidamente. Quando inspiradas, são retidas na parte superior do sistema respiratório, ou seja, na parte extratorácica, acima da laringe. As respiráveis ($MP_{2,5}$ e $MP_{0,1}$) são encontradas em fumaça e neblina. Essas partículas são mais perigosas à saúde humana pois permanecem em suspensão no ar por mais tempo. Quando inspiradas podem atingir as porções mais inferiores do sistema respiratório, onde estão situados os alvéolos pulmonares (KAMPA e CASTANAS, 2007; US-EPA, 2012) (FIGURA 03).

Figura 03 – Caminho do material particulado atmosférico no corpo humano



Fonte: adaptação de AIR CLEANER (2011).

À medida que vão se depositando no trato respiratório, essas partículas passam a ser removidas por alguns mecanismos de defesa. O primeiro deles é o espirro, desencadeado por grandes partículas que, devido ao seu tamanho, não conseguem ir além das narinas, onde

acabam se depositando. A tosse é um mecanismo semelhante que acontece quando há a invasão do trato respiratório inferior (além da laringe) por partículas. Quando as partículas se depositam na superfície das células do trato respiratório, outro mecanismo de defesa entra em funcionamento: o aparelho muco-ciliar. Fazem parte da superfície do aparelho respiratório células com cílios e células secretoras de muco. Os cílios permanecem constantemente em movimento, no sentido do pulmão para a boca, empurrando o muco para fora do trato respiratório. As partículas que se depositam sobre o muco também são carregadas.

Algumas dessas partículas podem alcançar os alvéolos pulmonares e, conseqüentemente, serem absorvidas. A quantidade de partículas inaláveis e respiráveis e sua composição química são os fatores governantes na periculosidade, em termos de mortalidade, causas de câncer e efeito cardiovascular e respiratório (KAMPA; CASTANAS, 2007).

Uma das conseqüências dos danos causados pelos materiais particulados nas vias respiratórias é que o indivíduo pode se tornar mais suscetível às infecções respiratórias, uma vez exposto aos vírus ou bactérias, agregados nessas partículas (GILMOUR *et al.*, 2001). Uma segunda possível conseqüência é a diminuição da função respiratória, em pessoas que tenham sofrido danos nas vias respiratórias devido à asma ou à bronquite. Como resultado, o que se observa é que os sintomas da asma, por exemplo, são exacerbados.

No Brasil, a Resolução CONAMA Nº 003, de 28 de junho de 1990, estabelece os padrões de qualidade do ar (TABELA 01), que são as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassados, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Entretanto, as partículas respiráveis não constam na resolução, as quais são consideradas, por estudos, como as responsáveis em causar doenças em curto tempo de exposição (KAMPA e CASTANAS, 2007).

Tabela 01 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar

CONAMA – Resolução n° 3/90			
Poluente	Tempo de amostragem	Padrão Primário ⁴	Padrão Secundário ⁴
PTS	24 horas ¹	240	150
	MGA ²	80	60
SO ₂	24 hora ¹	365	100
	MAA ³	80	40
CO	1 hora ¹	40.000 (35 ppp ⁵)	
	8 horas	10.000 (9 ppp ⁵)	
O ₃	1 hora	160 (80ppb)	
Fumaça	24 horas ¹	150	100
	MAA ³	60	40
PI	24 horas ¹	150	
	1 hora ¹	50	
NO ₂	1 hora ¹	320	190
	MAA ³	100	

Fonte: CETESB, 1996.

No exterior são utilizados guias de referência criados por órgãos ambientais e de saúde que estabelecem limites máximos de concentrações de MP na atmosfera. Os guias de referência mais frequentemente usados são aqueles da Organização Mundial de Saúde (OMS), União Europeia (UE) e Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA). Estas estabelecem limites para as concentrações tanto para partículas grossas como para finas.

A Tabela 02 mostra os valores de referência (padrões de qualidade do ar) estabelecidos por órgãos nacionais e internacionais para todos os poluentes que serão medidos neste estudo.

Tabela 02 – Valores de referência para cada poluente do estudo pela legislação e órgão ambiental brasileiro e por órgãos ambientais e de saúde internacionais ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

POLUENTES	CONAMA ^a	NR-15	CETESB ^a	OMS	US-EPA	OSHA	NIOSH
PTS ^b	240	-	240	-	260	15000	15000
MP ₁₀	150	-	120	50	150	-	-
MP _{2,5} ^b	-	-	60	25	35	5000	-
Formaldeído ^c	-	2300	-	100	1120	1250	20
Acetaldeído ^c	-	140000	-	-	9000	180000	180000
Acroleína ^c	-	-	-	-	7	250	250

^aPadrões primários de qualidade do ar.

^bValores de referência para 24 horas.

^cValores de referência para 8 horas diárias em ambientes internos (TWA-ocupacional).

Um dos primeiros trabalhos realizados no Brasil, no âmbito da Geografia, foi o de Gallego (1972), nos anos 70. A autora analisou espacialmente as concentrações de MP e o teor

de sulfatação indicativos da poluição do ar no Rio de Janeiro-RJ, durante os anos de 1968-69, correlacionando-as com os parâmetros urbanos, com as características do sítio e com os tipos de tempo que ocorreram na cidade naquele período. Como resultado, a autora indicou o setor oriental da cidade como o mais poluído e que as ocorrências de baixa umidade relativa, ocorrência de inversões térmicas, predominância de calmarias e ausência de chuvas favoreceram a elevação dos índices de chuva. Barbosa (1997) também realizou um estudo sobre qualidade do ar (MP em suspensão) no RJ, no qual fez uma análise comparativa dos anos 1984-1988. Cunha (1997) realizou um trabalho similar considerando o período de 1990-95.

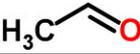
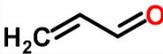
São Paulo é a cidade brasileira que exibe as piores condições de qualidade no ar no país, devido à simultaneidade e frequência com que os poluentes ultrapassam os padrões de qualidade do ar. Isso ocorre devido à exagerada emissão de poluentes oriundos de seus parques industriais e da sua frota de veículos. De acordo com a CETESB (1998), os índices de material particulado total e inalável estabelecidos pelos padrões de nacionais de qualidade do ar são excedidos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Depreende-se, então, que os ambientes urbanos são grandes geradores de material particulado que, além de agirem como núcleos de condensação, interferem no balanço de radiação das cidades, agindo como forte absorvedor da luz. As partículas presentes na atmosfera também reduzem a visibilidade e caracterização do domo de poeira típico de áreas urbanas poluídas, pois interagem de forma significativa no espalhamento da luz.

1.5.2 - Compostos Carbonílicos

Os Compostos Carbonílicos (CCs) são formados por aldeídos e cetonas, esses dois fazem parte do grupo das carbonilas. Os CCs derivam da oxidação parcial dos hidrocarbonetos. E dependendo do álcool, a perda de hidrogênio leva à formação de formaldeído para o metanol e acetaldeído para o etanol. Os aldeídos mais abundantes na atmosfera são o formaldeído (HCHO) e o acetaldeído (CH₃CHO). (TABELA 03)

Tabela 03 – Compostos Carbonílicos estudados

Composto	Fórmula estrutural	Fórmula molecular
Formaldeído		CH ₂ O
Acetaldeído		C ₂ H ₄ O
Acroleína		C ₃ H ₄ O

Fonte: <http://www.chemspider.com/>

Outro CC que merece destaque é a acroleína, cujas propriedades são extremamente tóxicas por todas as vias de administração. Seus vapores causam severas irritações respiratórias e oculares. A acroleína não é um agente cancerígeno ou embriotóxico, contudo, apresenta-se como forte agente mutagênico. A irritação nos olhos, causada pela acroleína, é até cinco vezes maior do que a provocada pelo formaldeído, dependendo da concentração. A principal via de ataque desse composto são as mucosas do trato respiratório superior. A exposição a altas concentrações pode causar edema pulmonar, ou até mesmo morte (ANDRADE *et al.*, 2002).

Os CCs são emitidos para a atmosfera por fontes primárias, como por emissões de vegetação natural, atividades industriais, incineradores e automóveis ROCHA (2014). São também emitidos por fontes secundárias, resultantes da foto-oxidação que propicia a reação de poluentes com outros componentes presentes na atmosfera, e consequente formação de novos contaminantes. Também podem ser formados *in situ*. (ANDRADE *et al.*, 2002).

Com o uso do metanol e do etanol como combustíveis automotivos, os níveis externos de formaldeído e acetaldeído tendem a se elevar substancialmente (SPIRO e STIGLIANI, 2009). Comumente o acetaldeído é detectado na atmosfera urbana em menores quantidades que o formaldeído. Mas em algumas cidades brasileiras, o acetaldeído pode ser proporcionalmente maior, resultado do uso do álcool etílico como combustível (CARDOSO e PEREIRA, 1999).

O formaldeído é mutagênico e genotóxico em experimentos com animais e tem sido classificado como carcinógeno ou provável carcinógeno por agências como a NIOSH, a US-EPA e a ACGIH. (US-EPA, 1990; ACGIH, 2003; NIOSH, 2005). Já o acetaldeído é classificado como carcinogênico em humanos pela NIOSH, US-EPA e como possivelmente carcinogênico em humanos pela IARC, e como carcinogênico confirmado em animais, pela ACGIH (US-EPA, 1987; ACGIH, 2003; NIOSH, 2005).

A legislação brasileira, através da NR-15, estabelece limites máximos de concentrações no ar de ambientes internos/ambientes ocupacionais para o formaldeído, acetaldeído e acroleína – em altas concentrações se torna uma substância tóxica ao ser humano - mas essa legislação não contempla ambientes externos. Isso também acontece nos guias de agências ambientais e de saúde internacionais que estabelecem os valores de referências para tais compostos, como US-EPA, OSHA, NIOSH e ACGIH.

Em desrespeito à importância e periculosidade dos CCs, verifica-se que esses não são monitorados frequentemente por órgãos governamentais. Os monitoramentos mais frequentes são feitos em ambientes interiores e não em ambientes externos, como é o caso do presente estudo. É possível visualizar (TABELA 04) alguns trabalhos que avaliaram as

concentrações dos CCs na atmosfera de ambientes externos, entretanto a maioria deles mediu apenas os dois compostos que trazem riscos à saúde humana, considerados carcinogênicos pela IARC.

Tabela 04 – Estudos antecedentes a esta pesquisa

Local	Concentração do formaldeído ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentração do acetaldeído ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Referências
Beira Mar Fortaleza, Brasil	19,1 e 45,9	29,7 e 75,4	ROCHA, 2014
Salvador, Brasil	98,4	147,9	Rodrigues <i>et al.</i> (2012)
São Paulo, Brasil	56,1	101,9	De Andrade <i>et al.</i> , 2002
Rio Grande do Sul, Brasil	18,2	15,4	Cavalcante <i>et al.</i> , 2005
Bijing, China	19,5	17,2	Pang e Mu, 2006

* Fora este estudo de Rocha (9 horas de amostragem), todos os outros são médias diárias (24 h).

1.5.2.1 - Os efeitos dos contaminantes na saúde humana

A exposição dos seres vivos, em especial a do homem, à poluição do ar tem trazido consequências sérias para a saúde. As consequências dessa exposição são marcantes e plurais quanto à abrangência (QUADRO 03).

A compreensão da ação dos gases, vapores e partículas que entram nos organismos das pessoas depende de conhecimentos de fisiologia e bioquímica médica, fora do alcance desta pesquisa. Sabe-se, entretanto, que os danos causados por eles, obviamente, estão na dependência de seu nível de toxicidade e de seu grau de penetração no aparelho respiratório.

Quadro 03 – Propriedades nocivas de alguns contaminantes à saúde

Contaminantes	Propriedades
NO _x , CO, SO _x , HC, CHO ⁵	Tóxicos
CO (na ausência de O ₂)	Asfixiantes
Formaldeído, SO _x , HC, MP ²	Irritam as mucosas (nariz, garganta e olhos)
Formaldeído e Acetaldeído	Possíveis carcinogênicos
HC e CHO	Possuem odor desagradável
MP (respirável)	Causam pneumoconioses

Fonte: adaptado de ARQUÉS, 1998.

⁵ CHO: aldeídos.

Segundo Danni-Oliveira (2003), os gases e vapores solúveis, como amônia e dióxido de enxofre, por exemplo, são retidos pela umidade e secreções no trato superior do aparelho, bem como o material particulado quando em tamanho superior a faixa de 3 a 5 μ .

O MPR, além de ser prejudicial por si só, é um agente potencializador de danos ao aparelho respiratório, na medida em que pode ter a ele incorporado outros poluentes como sulfatos, nitratos, metais pesados e hidrocarbonetos policíclicos; sendo já atestada a correlação entre problemas de bronquite e asma com concentrações de sulfatos e nitratos em partículas respiráveis (WANNER, 1990, p. 93).

Os aldeídos e cetonas afetam a química atmosférica de áreas poluídas por uma série de rotas bastante complexas (SODRÉ *et al.*, 2008). Esses compostos prejudicam a saúde das pessoas, principalmente àquelas expostas a altas taxas por longos períodos de tempo, pois tais compostos têm um alto potencial mutagênico e carcinogênico, conforme a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC).

Andrade *et al* (2002) destaca que o formaldeído apresenta odor irritante. O contato direto das soluções desse aldeído com o corpo humano pode provocar: irritações na pele, como dermatites alérgicas e urticária; em contato com os olhos provoca danos, como edema nas pálpebras e membrana conjuntiva, opacificação da córnea e pode levar até a perda da visão; em contato com o trato respiratório, dependendo da concentração e da sensibilidade da pessoa exposta, pode causar irritação do nariz e garganta, pneumonia, bronquite, edema pulmonar, algumas vezes resultando em morte. Ainda segundo esses autores, estudos comprovaram que o formaldeído é um agente mutagênico e cancerígeno, e a exposição prolongada de homens a este composto pode provocar câncer nasal e nasofaríngeal.

Já o acetaldeído é menos irritante e tóxico que o formaldeído. Em altas concentrações pode causar necrose, bronquite, albuminúria do tecido gorduroso do fígado, edema pulmonar e morte. Alguns estudos atribuem, em parte, os efeitos da fumaça de cigarro nos pulmões ao seu elevado teor em acetaldeído (0,98 - 1,31 mg/cigarro), considerado um importante constituinte citotóxico e ciliostático da fumaça do tabaco. Um outro efeito atribuído ao acetaldeído é o mal-estar provocado pelo excesso de bebidas alcóolicas. A maior fonte de acetaldeído no organismo humano é o metabolismo do etanol.

As principais fontes poluidoras, que são os veículos automotivos e as indústrias, estão presentes em todos os grandes centros urbanos. Nas últimas três décadas, o melhor conhecimento das origens, composições, comportamentos, interações e, do ponto fulcral, dos

mecanismos de ação desses verdadeiros inimigos da saúde pública tem mobilizado esforços e recursos tecnológicos e financeiros diversos.

Estudos observacionais têm procurado mostrar, com resultados cada vez mais significativos, efeitos de morbidade e mortalidade associados aos poluentes do ar. No entanto, para se avaliar a plausibilidade biológica desses achados, tem sido necessária a realização de estudos de intervenção e experimentais (CAVALCANTE, 2005; ROCHA, 2014).

No Brasil, a tese de doutorado de Sobral (1988) foi pioneira na área de geografia médica, segundo Danni-Oliveira (2000). Tal trabalho relacionou as concentrações de material particulado e dióxido de enxofre com doenças respiratórias de crianças de 12 e 13 anos. A tese de doutorado de Danni-Oliveira abordou a qualidade do ar de Curitiba, destacando as implicações de seus atributos urbanos e geoecológicos na dispersão de poluentes em períodos de inverno.

Estudos mais recentes mostram que podemos encontrar efeitos graves sobre a saúde mesmo quando os poluentes se encontram dentro dos padrões de segurança. Assim como a mortalidade pode ser um marcador de efeitos sobre a saúde, parâmetros de morbidade também podem ser, já que pessoas levadas à morte por problemas relacionados à qualidade do ar devem ter apresentado toda uma história de alterações clínicas anteriormente. Estas alterações clínicas têm sido documentadas na forma de exacerbações de sintomas respiratórios e cardiovasculares, aumento das crises de asma e dor precordial, limitação funcional, maior utilização de medicamentos, número de consultas em pronto-socorro e internações hospitalares.

De acordo com Conceição (2003), Zem (2004), Sobral (2005), Barros (2006), Castilho (2006), entre outros autores, pode-se concluir que:

- ❖ as concentrações de poluentes atmosféricos encontradas em grandes cidades acarretam afecções agudas e crônicas no trato respiratório, mesmo em concentrações abaixo do padrão de qualidade do ar. A maior incidência de patologias, tais como asma e bronquite, está associada com as variações das concentrações de vários poluentes atmosféricos;
- ❖ a mortalidade por patologias do sistema respiratório apresenta uma forte associação com a poluição atmosférica;
- ❖ as pessoas mais vulneráveis são as crianças, idosos e aquelas que apresentam doenças respiratórias;
- ❖ o MPR, com dimensão inferior a 10 μm e, mais recentemente, 2,5 μm , é apontado como o poluente mais frequentemente relacionado com danos à saúde;

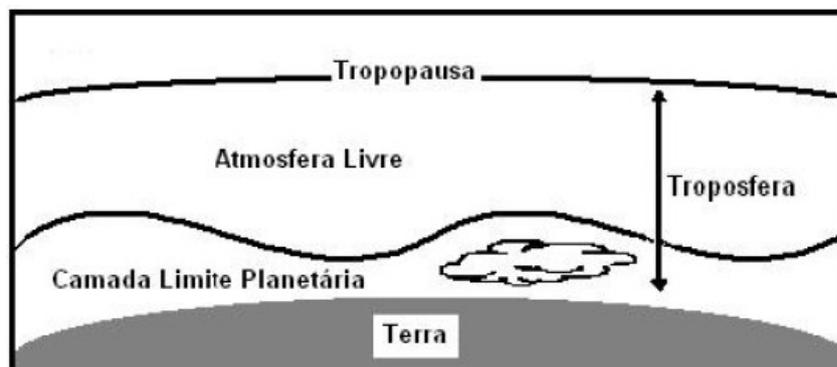
- ❖ sinais cada vez mais evidentes mostram ser os padrões de qualidade do ar inadequados para a proteção da população mais susceptível à poluição atmosférica. Vários estudos demonstraram ocorrência de efeitos mórbidos em concentrações abaixo dos padrões de qualidade do ar;
- ❖ a mortalidade por doenças cardio-vasculares também tem sido relacionada à poluição atmosférica urbana, sendo novamente o material particulado inalável, o poluente frequentemente associado;
- ❖ maiores propensões ao desenvolvimento de câncer;
- ❖ estudos experimentais e toxicológicos têm dado sustentação aos resultados encontrados em estudos epidemiológicos.

1.6 – A dispersão dos poluentes: fatores urbanos e meteorológicos

A qualidade do ar urbano depende diretamente das condições meteorológicas locais, e da quantidade de poluentes lançados na atmosfera por diversas fontes naturais ou antrópicas. A dispersão é um fenômeno que ocorre na troposfera, e que interfere na qualidade do ar das cidades.

A troposfera pode ser dividida em duas camadas: uma camada adjacente à superfície terrestre, a Camada Limite Planetária (CLP), e a camada acima dela, chamada de Atmosfera Livre (Figura 04). A troposfera se estende da superfície até a altitude de 11 km, mas somente os primeiros quilômetros são influenciados pela superfície da Terra. Pode-se definir a CLP como aquela parte da atmosfera que é diretamente influenciada pela presença da superfície terrestre (MELLO, 2010).

Figura 04 – Estrutura da Troposfera

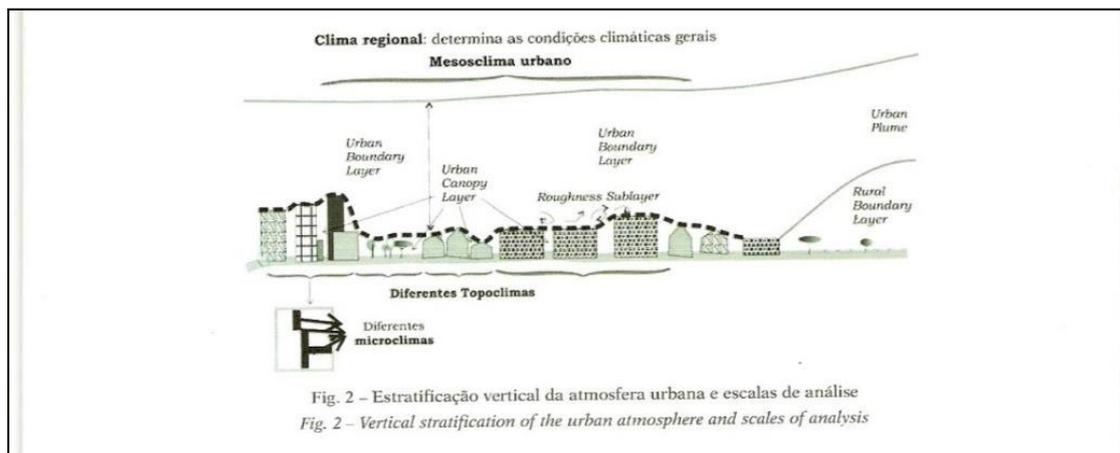


Fonte: STULL (1988).

A CLP ou camada de mistura⁶, como também é definida (OKE, 1978), constitui-se no locus onde se processa a diluição dos poluentes lançados no ar. Os movimentos verticais que nela ocorrem são imprescindíveis para o seu controle. De acordo com Danni-Oliveira (2000), o comportamento vertical da temperatura do ar é que rege os movimentos descendentes e ascendentes do ar, os quais conduzem a situações de concentração ou diluição dos contaminantes nele contidos, na ausência de ventos.

De acordo com o modelo da estrutura da atmosfera urbana proposta por OKE (1987) é possível entender como se dá a interação entre os condicionantes atmosféricos regionais e as feições morfo/estruturais da cidade no controle da dispersão dos contaminantes do ar (Figura 05).

Figura 05- Estratificação vertical da atmosfera urbana e escalas de análise



Fonte: ANDRADE (2005).

As camadas caracterizam-se, a grosso modo, como: a *Urban Canopy Layer* (UCL – atmosfera urbana inferior), situada abaixo da superfície ativa urbana que corresponde grosseiramente ao nível dos telhados dos edifícios; a *Urban Boundary Layer* (UBL – atmosfera urbana superior) encontrada acima da superfície ativa e que integra a influência térmica de toda a cidade. Tem-se ainda a *Roughness Sublayer* como a camada inferior da UBL, em que o fluxo é influenciado pela rugosidade dos elementos individuais.

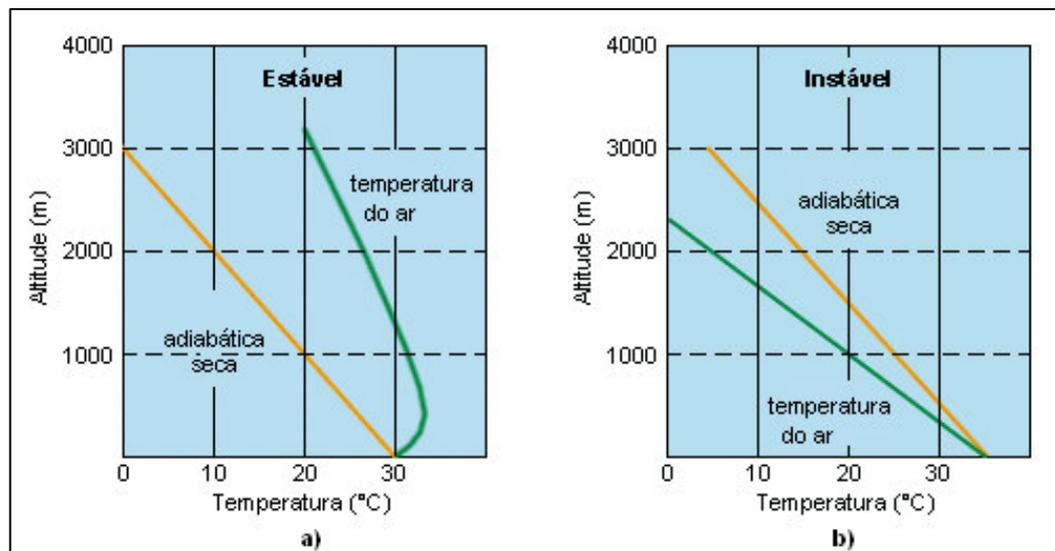
As condições de estabilidade que revelam o estado da atmosfera são decorrentes do perfil térmico vertical do ar. Uma atmosfera estável será propícia a acumulação de poluentes, enquanto que uma instável favorecerá a sua dispersão. Se a razão de descida da temperatura da atmosfera com a altitude for inferior à adiabática seca diz-se que a atmosfera é estável. Ao

⁶ Definida por LANDSBERG (1981) como a espessura da camada do ar que se estende do solo até o nível em que persistem os vigorosos movimentos verticais, que favorecem a mistura do mesmo.

invés, se a razão de descida da temperatura da atmosfera com a altitude for superior à adiabática seca diz-se que a atmosfera é instável (FIGURA 06). Quando o decréscimo da temperatura vertical é muito próximo do gradiente adiabático seco caracteriza atmosfera indiferente ou neutra. Para Danni-Oliveira (2000):

Em uma atmosfera **estável**, a taxa de resfriamento do ar ambiente (gradiente térmico ambiental - GT) é menor que o gradiente seco (GAS), de modo que rapidamente a coluna de ar torna-se mais fria que o ambiente, retornando a superfície, e junto com ele os poluentes que transportava... Ao contrário, quando a taxa de resfriamento de uma coluna de ar quente que ascende da superfície (GAS) é menor que o gradiente térmico ambiental (situação superadiabática), ela permanecerá em ascensão caracterizando uma situação de **instabilidade** do ar ambiente, de modo que o ar estará sendo levado da superfície para níveis mais elevados, possibilitando a diluição dos poluentes contidos nele (DANNI-OLIVEIRA, 2000, p. 63)

Figura 06 – Condições de estabilidade e instabilidade do ar



Fonte: <http://www.sam-cam.com/newsletter/news16.htm>

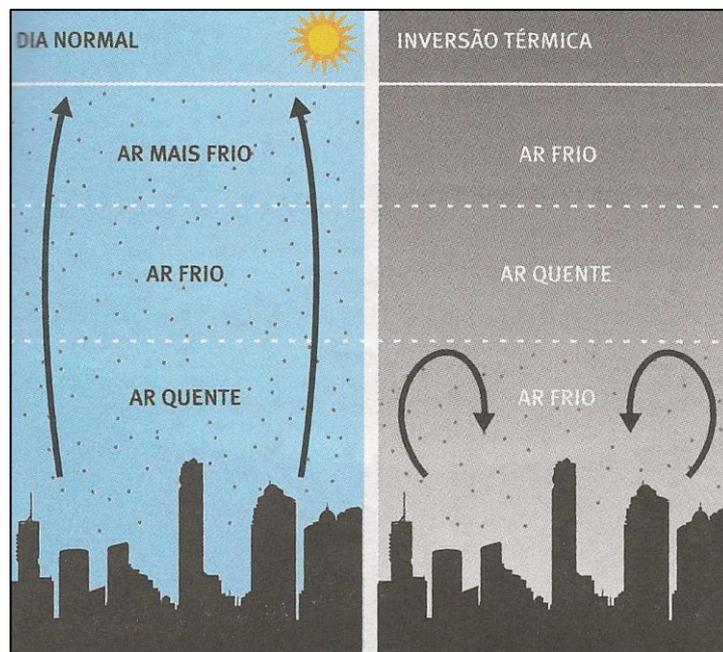
Para esta autora, o domo de poeira característico de cidades poluídas é potencializado pelas condições de estabilidade atmosférica. Além dos padrões de estabilidade acima citados, a dispersão dos poluentes está frequentemente atrelada a fenômenos em que o gradiente térmico vertical do ar conduz a inversões de temperatura que se estabelecem na camada limite urbana.

As inversões de temperatura são importantes indicadores das condições de dispersão da atmosfera urbana, pois elas definem a altura da camada de mistura do ar, onde os

processos convectivos agem como diluidores dos contaminantes (DOTREPPE-GRISARD, 1972). Logo, quanto mais rasa for a camada de mistura do ar urbano, menor será sua capacidade de dispersão de contaminantes nele lançados.

Nas situações de inversão térmica (FIGURA 07), os poluentes se acumulam próximo a superfície ao invés de se dispersarem. Nas grandes cidades a velocidade de deslocamento horizontal das massas de ar é dificultada pelas edificações. Isso ocorre também em regiões serranas. O movimento vertical das massas de ar é governado pelo perfil de temperatura da atmosfera.

Figura 07 – Inversão térmica



Fonte: prevupegeografia.wordpress.com

São Paulo é uma das cidades brasileiras que mais sofre com os efeitos de inversão térmica. Um estudo realizado por SAGULA (1991) correlacionou inversões térmicas com material particulado coletado pela rede telemétrica da CETESB. Esse estudo evidenciou significativa relação as concentrações de MP com a duração das inversões, com coeficiente de explicação por volta de 69%.

O acúmulo de poluentes causado pela inversão térmica em várias cidades gera o tão conhecido *smog* fotoquímico, que se forma sempre que uma quantidade de gases de exaustão automotivos e industriais é confinada pela camada de inversão térmica sobre uma localidade que seja, ao mesmo tempo, exposta ao Sol (SPIRO e STIGLIANI, 2009). Esse fenômeno traz muitos malefícios à população, pois o ozônio (O_3) – principal componente do *smog* fotoquímico

– reage com hidrocarbonetos formando álcoois, aldeídos e cetonas, aumentando, assim, o número de compostos orgânicos tóxicos na atmosfera, como o formaldeído e a acroleína. Além disso, prejudica bastante a visibilidade nesses locais.

De acordo com Landsberg (1981) ao longo do dia há uma variação na extensão da camada limite associada às inversões térmicas, em sintonia com os processos que orientam o aquecimento do ar urbano. Destacam-se a seguir alguns trabalhos relacionados à importância do vento e das inversões térmicas em relação à qualidade do ar, como: SAGULA (1985), TRIER (1997), KIRCHHOFF (1988), OLIVEIRA e FERRARI (1985), MUKAI e SUZUKI (1996).

Percebe-se, então, que a temperatura é o principal agente condicionante do movimento das massas de ar na vertical, enquanto na baixa atmosfera o vento (direção e velocidade) é o principal agente da movimentação horizontal do ar próximo à superfície, responsável pelo transporte e difusão dos poluentes. Ventos leves a moderados que passam por áreas poluídas a sotavento das cidades trazem consigo os contaminantes lá produzidos, intensificando a concentração dos tais nas cidades e amenizando a poluição atmosférica em outras (DANNI-OLIVEIRA, 2000).

Outros fatores também podem prejudicar a dispersão dos poluentes nas cidades, como a rugosidade da superfície decorrente das feições topográficas locais, edificações – que podem formar os *cânions* urbanos⁷ e, conseqüentemente, as ilhas de calor⁸ – árvores e presença de superfícies líquidas, que agem no sentido de reduzir a velocidade do vento.

Como já citado anteriormente, além da quantidade de poluentes que são lançados na atmosfera diariamente, a qualidade do ar das cidades também depende da forma com a atmosfera age quanto à dispersão e concentração dos referidos. Segundo Monteiro (1978), o controle dos processos climáticos organiza-se dos níveis escalares superiores para os inferiores.

Com relação ao Distrito Industrial de Maracanaú, estudos já comprovam (ALMEIDA, 2005; CAJAZEIRA, 2012; SOUSA, 2007) que muitas indústrias estão localizadas em áreas a sotavento de alguns conjuntos habitacionais, comprometendo a qualidade do ar e, por conseqüência, a saúde dos moradores que residem em tais áreas.

⁷ Consiste em ruas entre dois ou mais edifícios adjacentes (NUNEZ e OKE, 1977).

⁸ Resulta da elevação das temperaturas médias nas zonas centrais da mancha urbana ou região metropolitana, em comparação com as zonas periféricas ou com as rurais, causadas principalmente pela influência antrópica nessas regiões. Ocorrem basicamente devido às diferenças de irradiação de calor entre as regiões edificadas, das regiões com solo exposto e das regiões com vegetação e também à concentração de poluentes, maior nas zonas centrais da cidade (TEZA e BAPTISTA, 2005)

Por fim, a dispersão e remoção dos poluentes são controlados pelas feições regionais da atmosfera (estado, precipitação velocidade e direção dos ventos), pelos aspectos locais do clima urbano (ilhas térmicas e circulação do ar) em associação com as características da superfície urbana (uso do solo e fluxo de veículos).

A atmosfera pode ser caracterizada como meio onde ocorre a transformação (poluentes secundários), o transporte e difusão dos poluentes. Relacionados a esses processos, a pluviosidade atua na remoção dos contaminantes, possibilitando uma relativa *lavagem da atmosfera* das cidades. A chuva, além de possibilitar a dissolução de gases como CC's, por exemplo, promove o efeito de *remoção por agregação*⁹ e *remoção por carreamento*¹⁰, principalmente com relação ao material particulado (DANNI-OLIVEIRA, 2000).

⁹ Tal processo ocorre no interior das nuvens, onde pequenas partículas agem como núcleos de condensação ou são capturadas pelas gotas de nuvens, que evoluindo em gotas de chuva, precipitam-se e com elas as partículas incorporadas (DANNI-OLIVEIRA, 1999, p. 77).

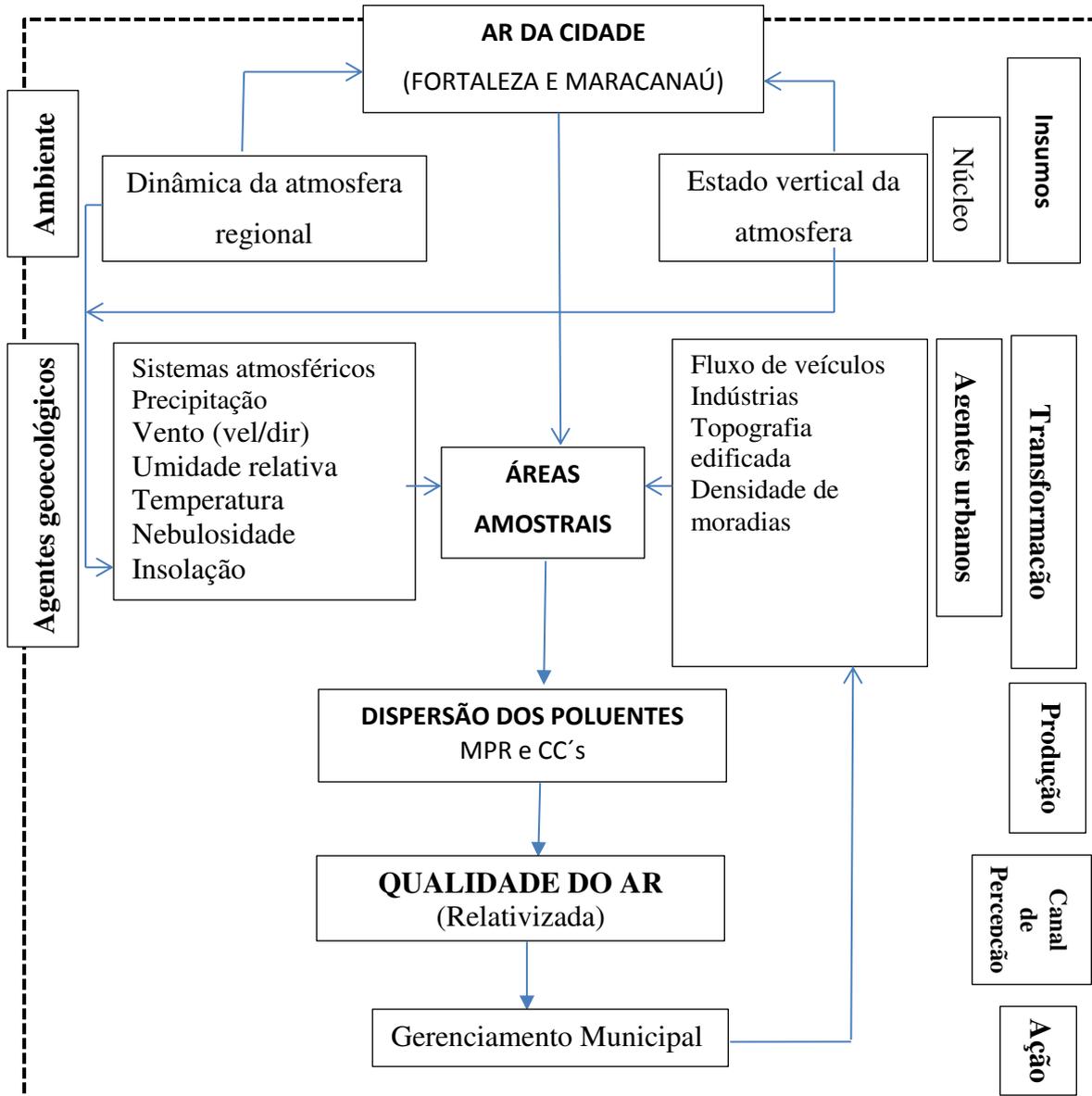
¹⁰ Esse processo ocorre nos níveis abaixo da base das nuvens, envolvendo as gotas de chuva propriamente ditas, o que permite a remoção de partículas maiores (op. cit.p. 77).

CAPÍTULO 2

2 – METODOLOGIA E RECURSOS TÉCNICOS

Com base na proposta “Teoria e Clima Urbano”, elaborada por Monteiro (1976, 2003), junto à metodologia de coleta de MPR e CCs, desenvolvida por Cavalcante (2005, 2006) e Sousa (2011), foi possível estruturar um modelo metodológico para avaliar a qualidade do ar de Fortaleza e Maracanaú (QUADRO 04).

Quadro 04 – Modelo metodológico utilizado



Fonte: Freitas, 2015.

2.1 – Estratégias de amostragem

Os experimentos de campo ocorreram no ano de 2015, em três áreas com atributos urbanos diferenciados. As coletas realizaram-se em períodos sazonais contrastantes: período chuvoso (abril/maio - outono austral) e período seco (novembro - primavera austral). Dentro de cada área foram selecionados três pontos de coleta de dados (triplicata) com complexidades divergentes.

Na cidade de Fortaleza foram selecionadas duas áreas, considerando-se não só os componentes urbanos, mas também o grande fluxo de veículos automotivos, os quais são responsáveis por 61% das emissões de gases poluentes nessa capital, segundo a Secretaria de Urbanismo e Meio Ambiente de Fortaleza (SEUMA, 2015).

O bairro Meireles constitui-se como a primeira área dentro de Fortaleza, a qual apresenta uma complexidade urbana, com um grande fluxo de automóveis trafegando ao longo de suas avenidas. É importante destacar o efeito das brisas terrestres e marítimas nessa área. Os pontos do bairro Meireles localizam-se na av. da Abolição (P1), na av. Desembargador Moreira (P2), e na rua João Cordeiro (P3) (MAPA 1).

A segunda área selecionada dentro da cidade de Fortaleza foi o bairro Messejana, o qual apresenta características diferenciadas do primeiro, com mais áreas verdes e uma menor densidade de edifícios. Os pontos dessa área localizam-se na av. Frei Cirilo (P1), na rua cel. Alves Ribeiro (P2) e na rua Dr. Pergentino Maia (P3) (MAPA 2).

Já a terceira área de coleta localiza-se no Distrito Industrial da cidade de Maracanaú em virtude do adensamento industrial e suas repercussões na qualidade do ar. Nessa área os pontos estão localizados no início rua 23 (P1), no final da rua 23 (P2) e na rua 37 (P3) (MAPA 3).

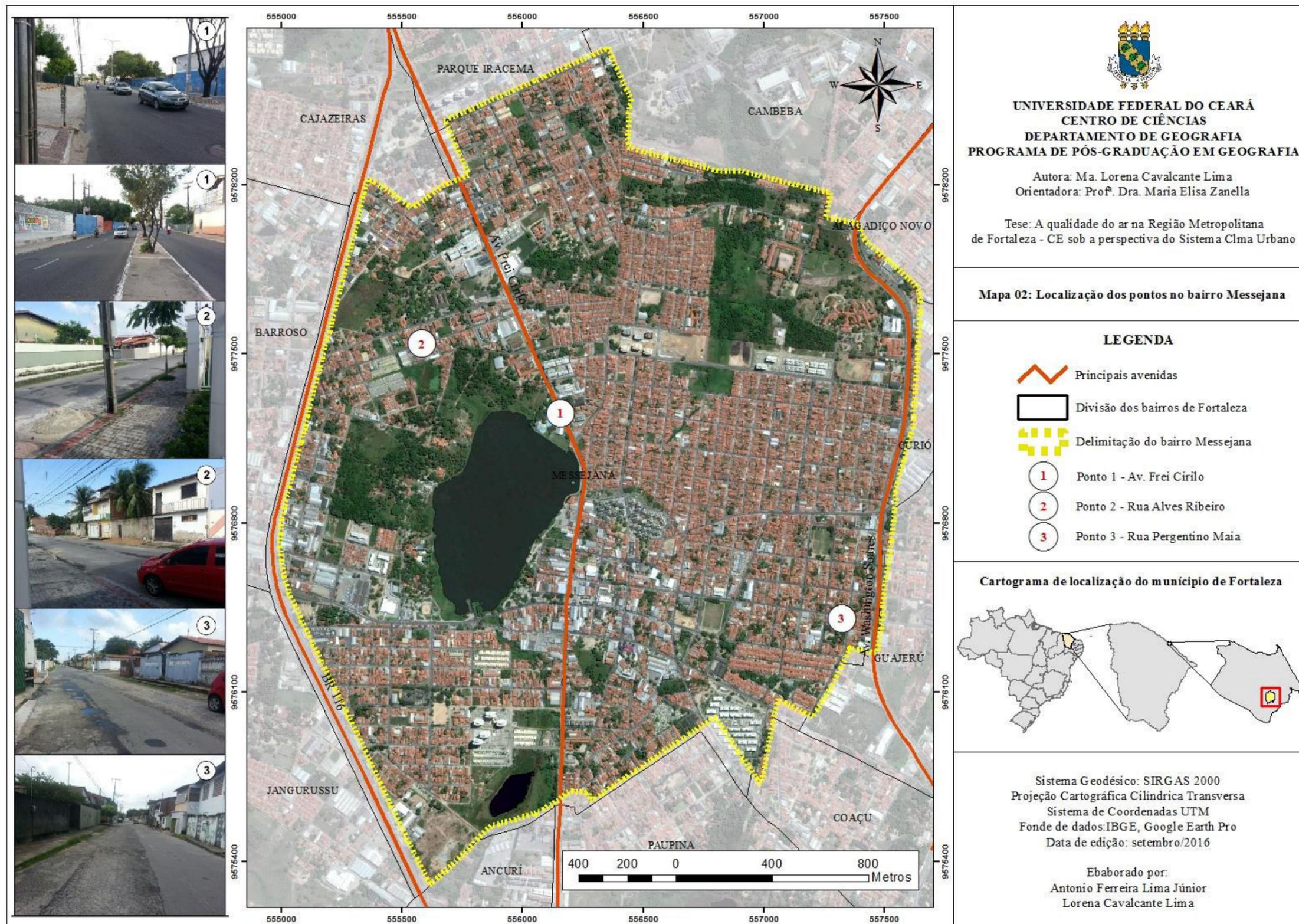
Em cada área de estudo foi realizada uma análise climática, na qual foram considerados os seguintes elementos: temperatura do ar, umidade relativa, pluviometria, direção e velocidade dos ventos, nebulosidade, insolação e pressão atmosférica. Tais dados foram disponibilizados pela estação meteorológica do Campus do Pici – INMET, em três horários: 9h, 15h e 21h. De acordo com Viana (2006), esses horários representam: o início do período de maior aquecimento diurno, que atinge a magnitude entre as 15h e 16h (devido à máxima emissão de radiação terrestre para a atmosfera), e o resfriamento noturno, às 21h, quando o sol já se pôs há algumas horas. Esses são horários representativos de um dia: manhã, tarde e noite.

Mapa 01 – Localização dos pontos do bairro Meireles



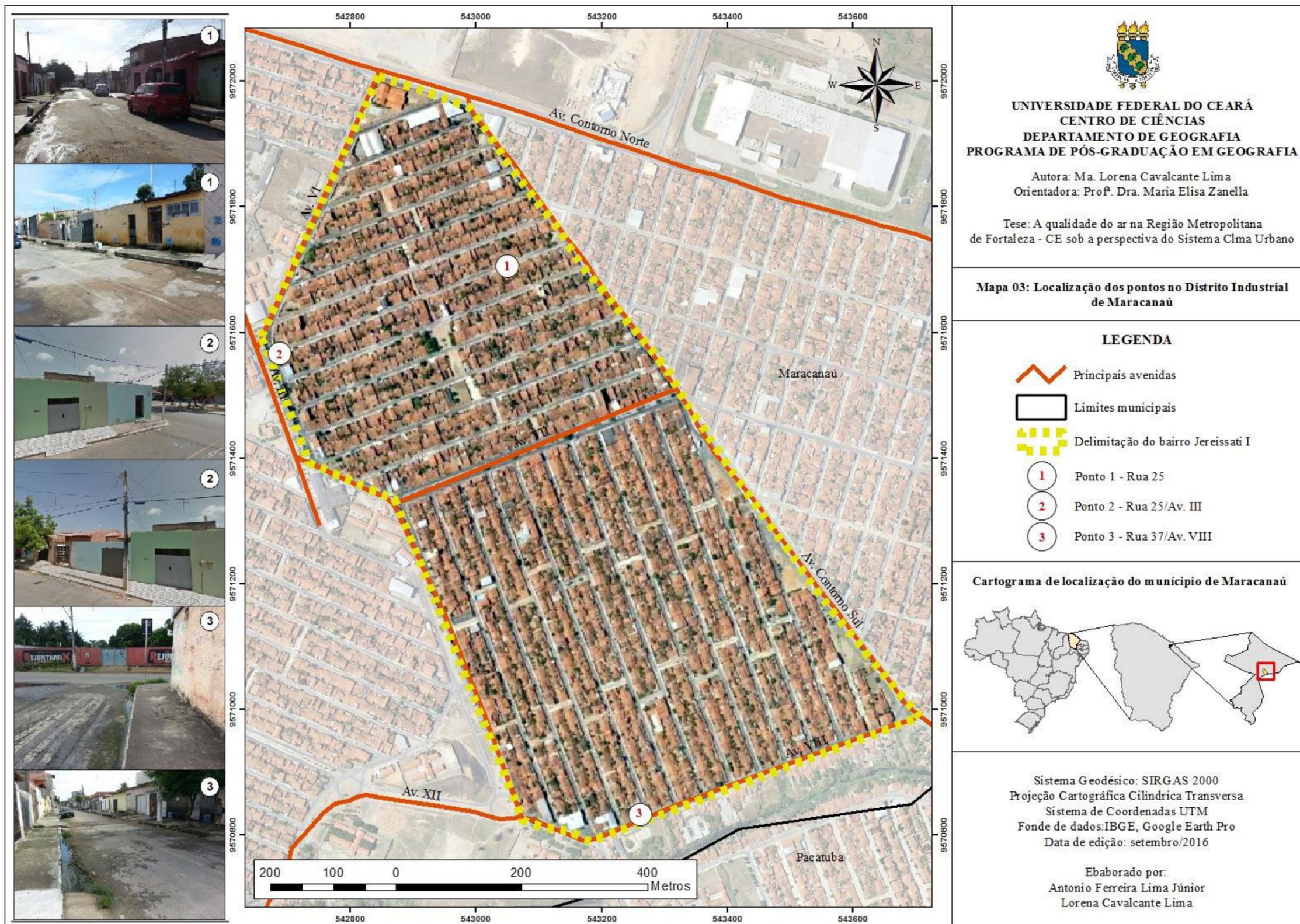
Fonte: Elaborado por Júnior e pela autora.

Mapa 02 – Localização dos pontos do bairro Messejana



Fonte: por Júnior e pela autora

Mapa 03 – Localização dos pontos do Distrito Industrial de Maracanaú



Fonte: Elaborado por Júnior e pela autora

Além desses dados, foi analisada a dinâmica atmosférica através das imagens de satélite GOES 13 – canal (4-infravermelho), disponibilizadas pelo CPTEC/INPE. Logo, no final de cada observação ficam registradas as condições de tempo de cada período, necessárias para a compreensão de como os atributos climáticos podem interferir na concentração/ dispersão dos poluentes.

Em cada um dos três pontos (triplicata), foram coletadas amostras de MPR e CCs e, posteriormente, foi calculada a média dos três e utilizada como referência para a área. Verificou-se também o fluxo de veículos, e algumas características de uso e ocupação do solo. Para a realização da coleta dos poluentes foi necessário o suporte técnico oferecido pelo Laboratório de Análise de Contaminantes Orgânicos (Lacor) da Universidade Federal do Ceará. Para verificação do fluxo de automóveis em cada local amostrado, foram contabilizados quantos veículos passavam no período de 2 minutos, três vezes ao dia.

Após essas discussões e análises, foram relacionados os elementos do clima (precipitação e ventos) e os poluentes em análise. Para confeccionar os gráficos dessa relação, foram utilizados os dados diários de precipitação disponibilizados pelo site da COGERH: estação do Pici – para o bairro Meireles, estação de Messejana e estação do Maracanaú.

Como forma de auxílio na interpretação dos resultados foram realizadas, também, análises e representações dos dados apresentados através de figuras, mapas, tabelas, quadros e gráficos que foram confeccionados por meio de dois programas, sendo eles o Oring 7.0 e o Excel 2016.

A mensuração de tais atributos foi de fundamental importância para essa tese, que buscou, como premissa, a relação e as consequências existente entre a dispersão de contaminantes na camada do ar intra-urbana, notadamente, provenientes do fluxo de veículos e indústrias em Fortaleza e Maracanaú, decorrente dos processos econômicos, sociais e culturais pretéritos e atuais, que se realizam na estrutura urbana atual.

2.2 - Metodologia de amostragem dos Compostos Carbonílicos

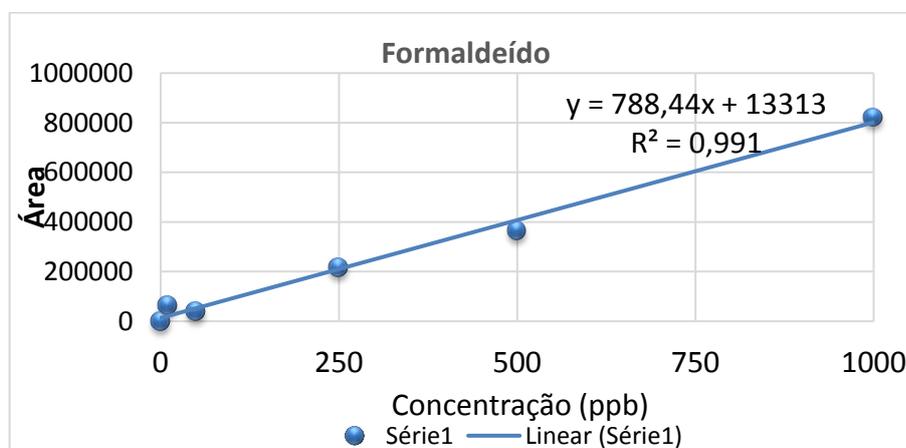
2.2.1- Preparo das soluções padrões de Hidrazonas (2,4-DNPH₀-CC)

Os padrões de hidrazonas¹¹ utilizados neste estudo foram da marca SIGMA-ALDRICH, 795-0298 SUPELCO, “EPA Method TO-11/IP-6A and ASTM[®] D5197: HPLC Analysis of Aldehydes and Ketones on SUPELCOSIL[™] LC-18 after Collection/Desorption using LpDNPH”.

Uma solução estoque de 50 µg/mL, em acetonitrila grau HPLC, das hidrazonas de cada composto disponível foi preparada. Para isso, as hidrazonas foram pesadas, em seguida, foram dissolvidas em ACN, aferindo-se o volume final para um balão volumétrico de 25mL, vedadas com pára-filme, envolvidas em papel alumínio e armazenadas sob refrigeração. As concentrações reais de cada composto foram obtidas a partir das massas pesadas das hidrazonas, que já foram expressas com o respectivo composto carbonílico.

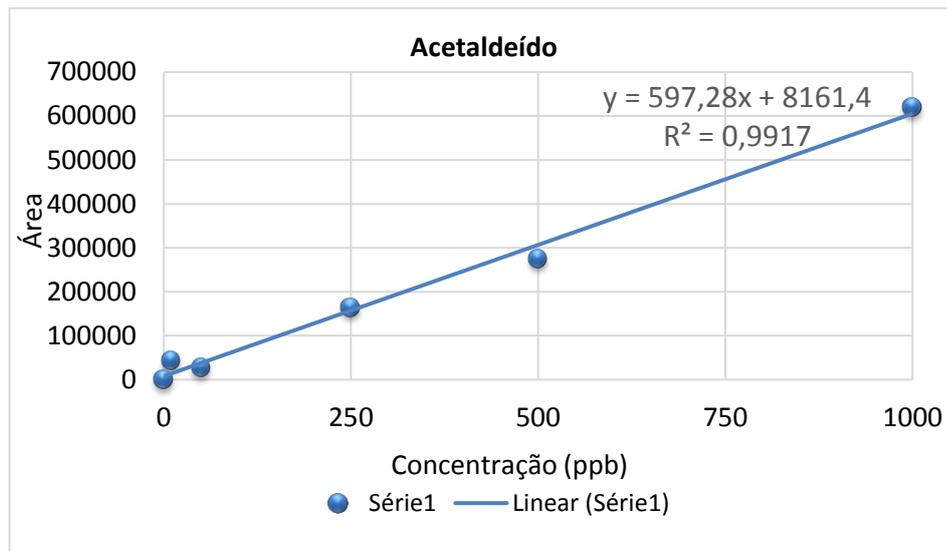
As massas pesadas e as concentrações de cada 2,4-DNPH₀-CC na solução padrão estoque foram de aproximadamente de 50µg/mL, expressas como concentração da própria hidrazona e como concentração em termos do composto carbonílico. A quantificação e identificação dos CCs foi realizada utilizando-se uma mistura de padrões das quatorze hidrazonas. As curvas de calibração foram preparadas (GRÁFICO 01, 02, e 03) e a identificação das hidrazonas foi baseada no tempo de retenção e absorção espectral. As soluções padrões de trabalho foram também usadas para determinar os limites de detecção (LD), quantificação (LQ) e precisão da metodologia analítica empregada (DPR).

Gráfico 01 – Curva de calibração do formaldeído



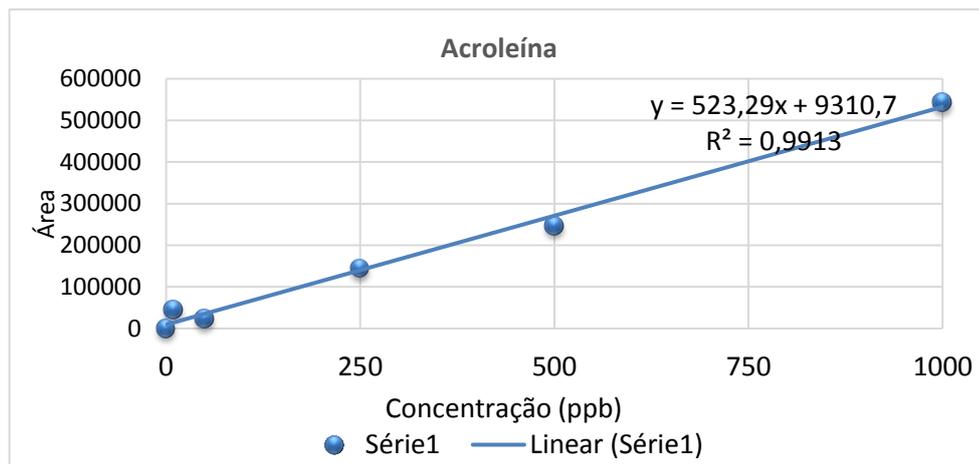
¹¹ Mix: formaldeído, acetaldeído, acetona, acroleína, propionaldeído, crotonaldeído, butiraldeído, benzaldeído, isovaleraldeído, valeraldeído, o-tolualdeído, m-tolualdeído, p-tolualdeído, hexaldeído e 2,5 dimetilbenzaldeído.

Gráfico 02 – Curva de calibração do acetaldeído



Fonte: A autora.

Gráfico 03 – Curva de calibração do acroleína



Fonte: A autora.

2.2.2 - Preparo da solução 2,4-DNPH_i

A concentração da solução de 2,4 - dinitrofenilhidrazina (DNPH_i) é um dos parâmetros dos quais depende diretamente a capacidade de coleta dos cartuchos Sep-Pak C18 e os níveis de contaminação dos brancos. O presente estudo utilizou uma solução de 2,4 – DNPH_i com concentração 0,2%, assim como no estudo de Cavalcante *et al.* (2005 e 2006).

A solução DNPH_i é que permite que o cartucho da amostragem passe a ser um meio seletivo e retenha somente os CCs, aprisionando-os lá até o momento da eluição.

A solução 0,2% de 2,4 – DNPHi foi preparada pesando-se 0,05 g do reagente puro em balança analítica e dissolvendo-o em 15 mL de acetonitrila grau HPLC, 9,75 mL de água ultra-pura e 0,25 mL de ácido ortofósforico concentrado, de forma que pH final foi aproximadamente 2. Em seguida, realizou-se uma extração líquido-líquido com 4 mL de diclorometano grau HPLC para purificar a solução. A solução preparada foi envolta em papel alumínio e refrigerada.

2.2.3 - Preparação e impregnação dos cartuchos Sep-Pak C18 para as amostragens

Os cartuchos Sep-Pak C18, (FIGURA 08), foram preparados 24 horas antes de serem usados, para minimizar os riscos de contaminação utilizando a metodologia descrita por CARVALHO, 2005; GROSJEAN, *et al.*, 1996 e ANDRADE, 2001:

- ❖ Seleção da vidraria que será utilizada;
- ❖ Lavagem de toda vidraria com metanol e acetonitrila;
- ❖ Lavagem dos cartuchos, mergulhando-os em metanol (grau HPLC) contido num becker por cerca de 10 minutos para sua ativação e separação das partículas de SiO₂ – C18;
- ❖ Passagem de 4 mL de acetonitrila por cada cartucho (a partir da extremidade mais fina), utilizando-se uma seringa previamente limpa;
- ❖ Passagem lenta de 2 mL de solução ácida de 2,4-DNPHi através dos cartuchos, a partir da extremidade mais grossa;
- ❖ Impregnação de filtros de celulose com solução 2,4-DNPHi (armadilha), para prevenir a contaminação dos cartuchos preparados de qualquer composto carbonílico presente na atmosfera;
- ❖ Secagem dos cartuchos num dessecador a vácuo (com armadilha) previamente limpo com metanol e acetonitrila para eliminação do solvente e diminuição dos riscos de contaminação durante 24 horas;
- ❖ Após secagem, os cartuchos foram armazenados em um dessecador;
- ❖ Os cartuchos já preparados foram levados ao campo.

Figura 08 – Cartuchos Sep-Pak C18



Fonte: A autora.

2.2.4 - Amostragem do ar

Para a coleta dos CCs utilizou-se um sistema montado em laboratório, baseando-se na metodologia e no sistema descrito por Kuwata *et al.* (1983), Cavalcante (2005, 2006), Sousa (2011) (FIGURA 09).

- ❖ Cartucho da marca Sep-Pak C18 impregnado com a solução DNPH_i;
- ❖ Bomba a vácuo da marca Nevoni;
- ❖ Mangueira ligando a bomba ao cartucho;
- ❖ Suporte com mangueira para o cartucho da marca SKC.

Os CCs foram coletados aspirando-se o ar ambiente com cartucho Sep-Pak C18 2 com o auxílio de uma bomba de amostragem ativa durante 24 horas, numa faixa de vazão de 1 L/min, fazendo o ar passar através do cartucho impregnado com a solução ácida de 2,4-DNPH_i. O sistema foi montado a uma altura média equivalente a zona de respiração, cerca de 1,5 m do solo.

Após a coleta, os cartuchos, principal e o cartucho branco foram fechados com fita teflon e colocados nos recipientes plásticos apropriados e mantidos refrigerados até a eluição e análise.

Figura 09– Amostrador dos CCs e MPR



Fonte: A autora.

2.2.5 - Eluição dos cartuchos

Após a amostragem, os cartuchos foram conduzidos para o laboratório. As hidrazonas dos CCs formadas nos cartuchos (2,4-DNPHo) foram eluídas em 1 mL com acetonitrila grau HPLC para vials de 2 mL. A acetonitrila foi passada nos cartuchos a uma vazão baixa, utilizando-se seringa de 5 mL, previamente limpas com metanol e acetonitrila. A eluição foi realizada pela extremidade mais fina do cartucho (SOUSA, 2011).

Após a eluição, as amostras foram vedadas com pára-filme, envoltas com papel alumínio e refrigeradas para análise.

2.2.6 - Método cromatográfico

Para analisar as hidrazonas eluídas dos cartuchos de amostragem foi utilizado um HPLC modelo 20-AT da marca Shimadzu, coluna de fase reversa do tipo octadecilsilano (ODS)-C18 (25 cm x 4,6 mm x 5 um); detector UV-VIS *diodo-array* (modelo SPD-M20A); comprimento de onda 370 nm; volume de injeção de 20uL e um sistema de gradiente de fase móvel constituído de ACN/H₂O com fluxo de 1 mL/min. O tempo de análise para uma amostra injetada foi de 8 minutos.

2.2.7 - Quantificação dos compostos carbonílicos

O cálculo das concentrações dos aldeídos amostrados nos locais de estudo foi obtido a partir da Equação 1, obtida através da reação de derivatização (LODGE, 1988).

$$C = \frac{W_a}{V_r} \times \frac{M_{ald}}{M_{DNPH}} \quad (1)$$

Onde:

C = concentração do aldeído no ar (mg/m^3);

W_a = massa de hidrazona medida (mg);

V_r = volume de ar amostrado (m^3);

M_{ald} = massa molar do aldeído;

M_{DNPH} = massa molecular da hidrazona ($M_{ald} + 180$).

2.3 - Metodologia de amostragem do material particulado respirável

2.3.1 - Preparação do filtro para as amostragens

Primeiro, o filtro de fibra de vidro de 47 mm, porosidade 0,7 μm , da marca Millipore limpo foi colocado na estufa a 60° C num período de 72 horas para retirar toda sua umidade. Depois de retirado da estufa, ele foi diretamente para o dessecador, permanecendo lá por, aproximadamente, 2 horas, para que atingisse a temperatura ambiente. Passado esse tempo, o filtro foi pesado 10 vezes até que seu peso estabilizasse.

2.3.2 Amostragem do ar

Para a coleta do MPR utilizou-se um sistema montado em laboratório, composto por:

- Filtro de fibra de vidro;
- Bomba a vácuo da marca Nevoni;
- Medidor gasoso da marca Petromax, ligado à bomba e ao cassete por mangueiras;
- Cassete da marca SKC, contendo o filtro (FIGURA 10);

- Ciclone da SKC, por onde o ar entra e onde é armazenado o material particulado mais grosso;
- Suporte com mangueira para cassete e ciclone SKC.

Figura 10- Cassete para a coleta de MPR



Fonte: A autora.

O material particulado foi coletado aspirando-se o ar ambiente com o auxílio de uma bomba de amostragem ativa durante 24 horas a uma vazão de 1,5 L/min, fazendo o ar passar através do filtro, onde ficou retido o MPR. O sistema foi montado a uma altura média equivalente à zona de respiração, cerca de 1,5 m do solo.

2.3.3 Análise do filtro amostrado

Depois das amostragens, o filtro foi levado ao laboratório e todo o processo de preparação que foi feito antes da amostragem é repetido para que a umidade seja retirada totalmente. O filtro foi pesado novamente e se obteve o peso do filtro amostrado.

A concentração do material particulado no filtro foi obtida a partir da seguinte Equação:

$$C_{mpr} = PF_d - PF_a / Q_{ar} \quad (2)$$

Onde:

C_{mpr} = Concentração do material particulado respirável ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

PF_d = Peso do filtro depois da amostragem (μg)

PF_a = Peso do filtro antes da amostragem (μg)

Q_{ar} = Quantidade de ar passado pelo filtro (m^3)

2.4 - Metodologia de amostragem dos dados auxiliares

2.4.1 - Fluxo de automóveis e pessoas

Para verificação do fluxo de automóveis em cada local amostrado, foram contabilizados quantos veículos passavam no período de 2 minutos. Essa contagem foi feita três vezes durante a amostragem, às 7h, 12h e 19h. Tais horários justificam-se pelo primeiro ser aquele de saída para as atividades humanas, diárias; o segundo é um período de calma no intenso fluxo viário, e o último representa o retorno dos trabalhadores, estudantes, entre outros, para o lar. A partir disso foi feita uma média aritmética para obtenção do fluxo diário de automóveis.

Ressalta-se ainda que o fluxo de veículos foi dividido em dois grupos: os do ciclo Otto (CO), movidos a gasolina; e os do Ciclo Diesel (CD), movidos a diesel, em virtude de suas diferenciações no tocante à quantidade de emissão de poluentes.

2.5 - Metodologia da avaliação do risco à saúde humana

Depois de todos os dados coletados e analisados, foram calculadas: a exposição e a ingestão diária das pessoas aos CCs, e o risco de câncer a que elas estão submetidas ao ingerir determinadas concentrações desses compostos por certo período de tempo.

Quando se determina a concentração ao nível do solo de um certo poluente na atmosfera, mede-se o grau de exposição dos receptores (seres vivos e materiais diversos) como resultado final do processo de lançamento desse poluente na atmosfera, desde suas fontes de emissão, suas interações na atmosfera física e química (SEINFELD, 1986).

2.5.1 - Cálculo da exposição diária individual

Embora o material particulado não cause câncer, mas sim alguns compostos químicos adsorvidos a ele, limitando as agências internacionais a produzir uma Unidade de Risco de Inalação (URI), muitos estudos avaliam a exposição diária de pessoas a partículas finas ($<2,5 \mu\text{m}$) (Kaur et al., 2007).

A Exposição Diária (ED) ($\mu\text{g}/\text{dia}$) é a determinação da exposição potencial, a qual indica uma dose efetiva. Portanto, conhecendo os níveis de um determinado poluente e tempo de exposição da pessoa no ambiente, pode-se, aproximadamente, determinar a exposição diária. Matematicamente, a exposição diária é expressa como uma dose potencial, para uma pessoa, em um microambiente, podendo ser calculado através da Equação 3 (US-EPA, 1992):

$$ED = C \text{ (}\mu\text{g}/\text{m}^3\text{)} \times RI \text{ (m}^3/\text{h)} \times T \text{ (h/dia)} \quad (3)$$

C = Níveis de partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

RI = Razão de inalação (m^3/h)¹²

T = Tempo de exposição (h/dia)

2.5.2 – Avaliação do risco a substâncias carcinogênicas e não carcinogênicas

O risco à saúde humana foi estimado utilizando o modelo de ingestão crônica por tempo de vida (CDI - $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$) (Equação 4). Para a avaliação do CDI, certos valores serão assumidos de acordo com a US-EPA (1997) (TABELA 05):

$$CDI = \frac{(CA \cdot IR \cdot ED \cdot EF \cdot L)}{(BW \cdot ATL \cdot NY)} \quad (4)$$

Tabela 05 – Descrição das variáveis usadas nos cálculos da exposição e estimativa do risco de câncer

Parâmetro	Descrição	Valor	Unidade
CA	Concentração do contaminante	-	$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$
IR	Taxa de inalação (adulto)	0,75	m^3h^{-1}
ED	Duração da exposição (adulto)	40	$\text{h}^{-1}\text{semana}^{-1}$
EF	Frequência de exposição	48	$\text{semana}^{-1}\text{ano}^{-1}$
L	Tempo de exposição	72/69	ano
BW	Peso corporal homem e mulher	75/65	kg
ATL	Expectativa de vida do homem e mulher	69/72	ano
NY	Número de dias do ano	365	$\text{d}^{-1}\text{ano}^{-1}$

Fonte: Sousa, 2011.

¹² Estima-se que uma pessoa (não asmática), em suas atividades normais, apresenta razão de inalação de $0,75 \text{ m}^3$ de ar por hora (m^3/h) (baixa inalação), enquanto que um trabalhador exercendo suas funções de forma rápida apresenta razão de inalação de $3,06 \text{ m}^3/\text{h}$ (alta inalação) (US-EPA, 1997).

O risco a substâncias carcinogênicas foi estimada multiplicado o CDI pelo *Slope Factor* (SF) (0,0455 (mg/kg/dia⁻¹) (Equação 5) para o formaldeído e 0,0077 (mg/kg/dia)⁻¹ para o acetaldeído individual de cada substância, de acordo com o sistema de informação de risco integrado (IRIS) (US-EPA, 1992, US-EPA, 1996; US-EPA, 2004).

$$RC = CDI \cdot SF \quad (5)$$

O risco a substâncias não carcinogênicas foi estimado dividindo-se a ingestão crônica por tempo de vida (CDI - mg.kg⁻¹.dia⁻¹) pela dose de referência (RfD - mg.kg⁻¹.dia⁻¹) (Equação 6), gerando o Índice de Risco ou Quociente de Perigo, HQ (NRC, 1990; DEP, 2002):

$$HQ = \frac{CDI}{RfD} \quad (6)$$

Caso o HQ seja menor que 1, a exposição à substância química em questão é considerada provavelmente não causadora de efeitos adversos à saúde; se for maior que 1, efeitos adversos à saúde são elevados e prováveis ações de remediação ou mitigadoras são necessárias. O HQ não é uma medida do risco, mas apenas um ponto de partida para estimar o risco (WILLIAMS et al., 2000; Yu, 2004). O HQ foi calculado apenas para acroleína, pois os outros compostos encontrados no estudo não possuem dose de referência no sistema IRIS.

CAPÍTULO 3

3 – CARACTERIZAÇÃO GEOECOLÓGICA, BREVE HISTÓRICO SOCIECONÔMICO E DA FROTA DE VEÍCULOS DA RMF

3.1 – Fortaleza

3.1.1 - Caracterização climática e geoecológica

Fortaleza, capital do estado do Ceará, está localizada no Litoral Atlântico, no Nordeste do país, a uma altitude média de 21 metros, com latitude 03°43'02''S e longitude 38°32'35''O. Possui, aproximadamente, 2,5 milhões de habitantes e tem uma área de 314.930 km². É a capital de maior densidade demográfica do país, com 7.786,44 hab/km² e é a cidade mais populosa do Ceará, a quinta do Brasil (IBGE, 2010).

Devido a sua localização geográfica junto à faixa costeira, Fortaleza está inserida no domínio do clima tropical subúmido (ZANELLA, 2007). No litoral, os sistemas atmosféricos atuam com maior intensidade gerando totais de precipitação mais elevados em relação aos do interior do Estado. Contudo, apesar desses valores serem mais importantes, apresentam uma distribuição marcadamente sazonal, com variabilidade acentuada no tempo, caracterizada por dois períodos bem definidos: um seco, com duração de 6 meses, e um chuvoso, com a mesma duração.

Vários são os fatores responsáveis pelas características climáticas da região, destacando-se os sistemas atmosféricos, pois são os mecanismos de gênese do clima. Seu conhecimento tem sido fundamental para o entendimento das relações que se estabelecem entre os vários elementos do clima e na formação da paisagem e sua dinâmica. A região Nordeste está configurada com um sistema de baixas pressões, em que há o deslocamento contínuo dos sistemas atmosféricos que ali se formam para o sentido leste em direção ao estado do Piauí (ZANELLA, 2007).

A zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é considerada o principal sistema atmosférico causador de chuvas sobre a região norte do Estado do Ceará durante a chamada “quadra chuvosa” (fevereiro, março, abril e maio). E configura-se como uma banda de nuvens convectivas, que se estende, formando uma faixa contínua ao longo da região equatorial (MELO; CAVALCANTI; SOUZA, 2009).

Contudo, é importante destacar que fevereiro e março são os meses que apresentam o maior número de sistemas atmosféricos, atuando sobre a região, como por exemplo, os

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), além da atuação de Complexos Convectivos de Meso-escalas (CCM) que, embora secundários, trazem chuva para a área de estudo.

De acordo com Ferreira e Mello (2005), essa faixa de nuvens se forma, principalmente, através da confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os alísios do hemisfério sul, em baixos níveis, baixas pressões, altas temperaturas da superfície do mar, intensa atividade convectiva e precipitação.

Uma das principais características da ZCIT (FIGURA 11) é sua migração sazonal, determinando a intensidade e frequência da estação chuvosa no norte do Nordeste brasileiro e em todo o Estado do Ceará. Sua posição mais ao sul ou mais ao norte da Linha do Equador, associada a fatores que causam o enfraquecimento ou fortalecimento dos alísios de sudeste e nordeste, determina como irá se configurar o período chuvoso nessa região (MELO; CAVALCANTI, SOUZA, 2009).

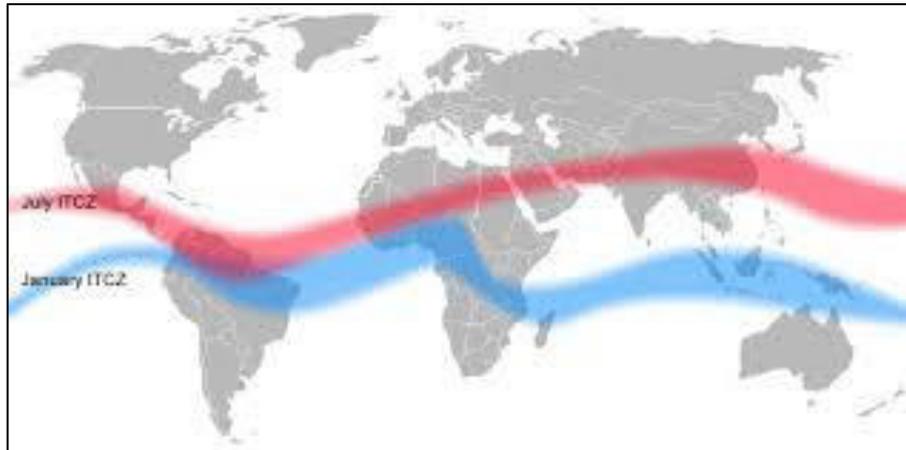
Estudos mostram que esse deslocamento da ZCIT se relaciona com os padrões da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre a bacia do oceano Atlântico Tropical (FERREIRA; MELLO, 2005) e com a ocorrência do fenômeno El Niño (ENOS). Comprovou-se que, durante anos de grande aquecimento das águas do pacífico equatorial central, a ZCIT situa-se anormalmente ao norte de sua posição climatológica sobre o Atlântico Tropical.

Desse modo, em anos de seca, a ZCIT inicia sua migração para posições mais para norte em fins de fevereiro ou início de março, enquanto que, em anos chuvosos, inicia esse deslocamento somente em fins de abril ou início de maio. Xavier *et al* (2000) constatou que, em anos chuvosos ou muito chuvosos, no Estado do Ceará, aprofunda-se a descida da ZCIT para latitudes ao sul da linha equatorial, enquanto nos anos secos ou muito secos, tal incursão ao sul é mais limitada.

O El Niño Oscilação Sul (ENOS) caracteriza-se por um aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico, provocando mudanças na circulação de grande escala da atmosfera e anomalias no regime de chuvas e temperatura em várias partes do globo (ALVES; REPELLI, 1992). GRIMM (2009, p. 353) define o ENOS como uma “oscilação acoplada do oceano-atmosfera, que produz alterações na pressão, no vento e na convecção tropical, principalmente no oceano pacífico”, porém, com reflexos em diversos lugares do planeta, incluindo o Nordeste brasileiro.

O mecanismo físico oposto, em que ocorre o processo inverso, é denominado La Niña. Significa um resfriamento anormal, ambos alterando diretamente a circulação da célula de Walker.

Figura 11 - Zona de Convergência Intertropical



Fonte: commons.wikimedia.org.

Nobre e Molion (1988, *apud* MOLION; BERNARDO, 2002) apontam que, em fase de El Niño, o ramo ascendente da Circulação Hadley-Walker, usualmente sobre a Amazônia, desloca-se para as águas anormalmente quentes do Pacífico Este ou Central, produzindo centros ciclônicos nos altos níveis sobre o norte/nordeste da América do Sul e uma forte subsidência sobre essa região e sobre o Atlântico Tropical. Essa subsidência enfraqueceria a ZCIT e a convecção sobre o Nordeste, diminuindo as chuvas.

Por outro lado, ocorreria uma relação oposta em fases de La Niña, com as chuvas sendo intensificadas durante esse período. Em anos de La Niña, ou sem a atuação dos dois fenômenos, a célula de Walker não é alterada e o ar descendente não alcança o Nordeste do Brasil, permitindo a formação de nuvens e a entrada de sistemas atmosféricos.

Nessa perspectiva, o ENOS não é o único fator a influenciar a variabilidade interanual do clima do Nordeste brasileiro. Anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical controlam, em conjunto com o ENOS, grande parte da variabilidade climática dessas regiões, interferindo diretamente no posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sistema mencionado anteriormente.

Segundo Nóbrega *et al* (2000), a anomalia da TSM atua ao norte ou ao sul do equador sobre o Atlântico Tropical, alterando a distribuição sazonal da pluviometria sobre o Atlântico Equatorial, parte norte do Nordeste brasileiro, até a parte central da Amazônia.

Desse modo, nos anos em que a TSM sobre o Atlântico Tropical Sul se mantém mais alta do que a média e o Atlântico Tropical Norte está menos aquecido que o habitual, ocorre a formação de um gradiente meridional de anomalias de TSM no sentido de norte a sul, o mesmo podendo ocorrer no sentido inverso (NÓBREGA *et al*, 2000).

Aragão (1998) explica que esse fenômeno muda a circulação meridional da atmosfera (Hadley), inibindo ou aumentando a formação de nuvens sobre o Nordeste brasileiro:

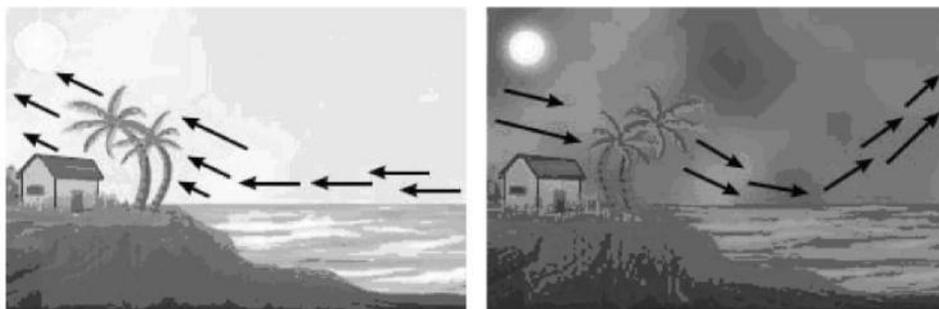
Quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais quentes e as águas do Atlântico Equatorial e Tropical Sul estão mais frias, existem movimentos descendentes anômalos sobre o Nordeste do Brasil e alguns países da África Ocidental, inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação, podendo causar secas. Por outro lado, quando as águas do Atlântico Tropical Sul estão mais quentes, existem movimentos ascendentes anômalos sobre o Nordeste do Brasil e países da África Ocidental, acelerando a formação de nuvens, aumentando a precipitação (ARAGÃO, p.841, 1998).

Durante o ano de 2015, a intensidade e atuação da ZCIT foi, provavelmente, influenciada pelo El Niño no pacífico e pelas TSM do Atlântico sul, estando mais quente no Atlântico Norte. Tais situações impactaram a quadra chuvosa do norte do Estado do Ceará e resultaram no quarto ano de seca consecutiva não só para a área de estudo, mas para todo o Estado.

Um sistema que se deve considerar, indubitavelmente, para a análise dos dados de Fortaleza, é o sistema de brisas marítimas e terrestres, que repercute, sobretudo, nos dados do bairro Meireles. Essas brisas são ventos locais decorrentes de um gradiente de pressão local que se estabelece como o resultado do aquecimento diferencial da superfície com a alternância do dia e da noite (FIGURA 12) - (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A Brisa Marítima pode penetrar até 100 km do continente e a Brisa Terrestre até 100 km do oceano. O fenômeno das Brisas foi um fator decisivo na eleição de um dos pontos de coleta de dados desta pesquisa: um ponto experimental na Prainha, que está diretamente ligada ao efeito das brisas.

Figura 12 - (A) Esquema de Brisa Marítima e (B) Esquema de Brisa Terrestre.



(A)

(B)

Fonte: Ferreira & Mello (2005).

Para analisar as condições climáticas da área em estudo, utilizaram-se dados disponíveis do município de Fortaleza, da estação meteorológica do Campus do PICI,

localizada em referido município, e apresentaram-se todos os parâmetros climáticos necessários à caracterização de seu clima. O período em análise refere-se a 31 anos (1983-2013) para a precipitação anual e a mesma série histórica para a precipitação mensal, temperatura média, umidade relativa, ventos, insolação, nebulosidade e evaporação. Os dados da tipologia climática foram obtidos a partir do método de Thornthwaite e Mather (1955).

De acordo com os valores da precipitação (TABELA 06), na série histórica estudada, o ano de 2013 se destacou por apresentar o mais baixo total pluviométrico, com 848,5mm, enquanto o ano de 1985 apresentou o maior valor, atingindo 2.900,1mm de chuvas. A diferença entre ambos foi de 2051,6mm, enquanto a média para todo o período é de 1.604,9mm.

Tabela 06 – Precipitação total anual de Fortaleza (2000-2013)

ANO	TOTAL ANUAL	ANO	TOTAL ANUAL	ANO	TOTAL ANUAL
1983	958,2	1994	2414,6	2005	1178,9
1984	2007,1	1995	2116,6	2006	1454,7
1985	2900,1	1996	1667,7	2007	1335,1
1986	2265,8	1997	975,5	2008	1568,2
1987	1293,8	1998	1182,0	2009	2341,6
1988	1757,9	1999	1344,6	2010	1014,2
1989	1732,4	2000	1797,6	2011	2273,9
1990	974,8	2001	1438,2	2012	1353,5
1991	1512,6	2002	1734,9	2013	848,5
1992	1165,7	2003	2346,2		
1993	945,1	2004	1851,3	Média	1.604,9

Fonte: Posto Meteorológico do campus do PICI.

Nos anos secos, os problemas relacionam-se principalmente à falta de recursos hídricos, com consequências mais graves para a agricultura e a pecuária, repercutindo nas migrações campo-cidade, enquanto nos chuvosos registram-se, com frequência, inundações, com prejuízos não menos danosos, principalmente às áreas urbanas. Fortaleza é frequentemente atingida por inundações em anos chuvosos ou quando da ocorrência de eventos extremos, principalmente nas áreas de risco, habitadas por populações mais vulneráveis e que têm maiores dificuldades de enfrentar os impactos causados.

De acordo com Ferreira e Mello (1995), o fenômeno do El Niño e a TSM do Atlântico Sul, mais frias em relação às do Atlântico Norte, geralmente estão vinculados a

anos secos, enquanto anos chuvosos relacionam-se à presença de La Niña e/ou TMS do Atlântico Sul mais quentes em relação às do Atlântico Norte.

Além da variabilidade anual da precipitação, tem-se ainda uma distribuição sazonal muito acentuada da chuva no decorrer do ano (TABELA 07 E GRÁFICO 04). O trimestre de maiores totais pluviométricos corresponde aos meses de março-abril-maio, quando se concentram 58% das chuvas ocorridas, período de maior influência da ZCIT. A quadra chuvosa concentra em torno de 69% da chuva. Durante o período seco (6 meses), quando os totais pluviométricos se tornam efetivamente baixos, tem-se a atuação da Massa Equatorial Atlântica (MEA), que tem seu centro de ação no Anticiclone do Atlântico Sul, de altas pressões barométricas e responsável pela estabilidade para o tempo.

Para Mendonça (2007), as massas de ar quente e úmida formadas nos anticiclones dos Açores (norte) e de Santa Helena (sul) são denominadas Massa Equatorial do Atlântico Norte (MEAN) e Massa Equatorial do Atlântico Sul (MEAS).

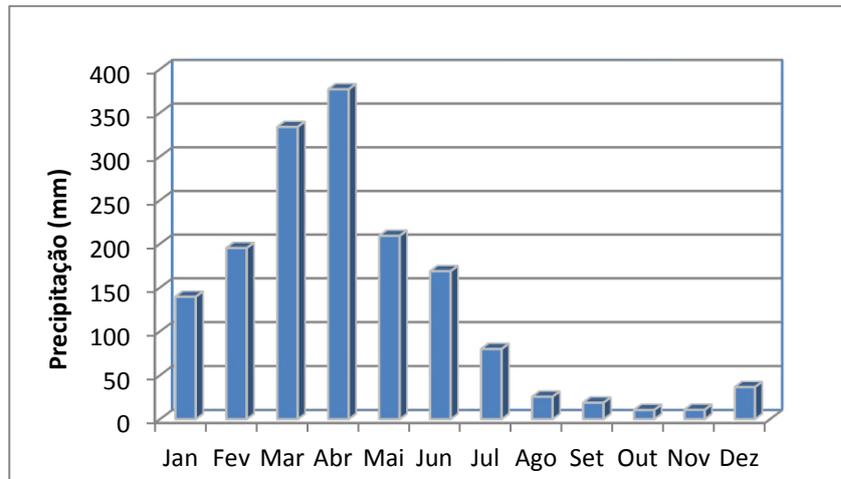
Ainda de acordo com Mendonça (2007), essas massas de ar atuam principalmente nas porções norte (MEAN) e extremo nordeste (MEAS) da América do Sul. A MEAS tem sua maior expressão devido ao posicionamento do anticiclone do Atlântico Sul, que favorece sua atuação sobre o litoral do Nordeste brasileiro.

Tabela 07 – Parâmetros climáticos para Fortaleza (1983-2013)

Atributo Climático	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total/Média Anual
Precipitação (mm)	139,4	195,2	333,8	376,9	209,1	168,7	79,9	25,5	18,7	10,4	10,6	36,5	1604,9
Temperatura Média (°C)	27,4	27,3	27,3	27,0	26,8	26,9	26,3	26,6	26,9	27,4	27,6	27,8	27,0
Umidade relativa (%)	76	78	82	83	80	78	76	72	70	71	72	73	76
Insolação (hs)	232,5	192,2	173,3	155,4	216,4	234,8	271	300,2	288,4	298,9	292,8	279,1	2935,1
Evaporação (mm)	122,0	94,3	81,1	72,1	89,2	100,1	122,5	155,6	159,4	173,8	161,1	149,5	1480,8
Nebulosidade (décimos)	6	6	6	6	6	5	5	4	4	4	4	5	5
Velocidade dos Ventos (m/s)	3,4	3,3	2,6	2,5	2,9	3,2	3,6	4,2	4,6	4,5	4,4	4,0	3,6

Fonte: Posto Meteorológico do campus do PICI.

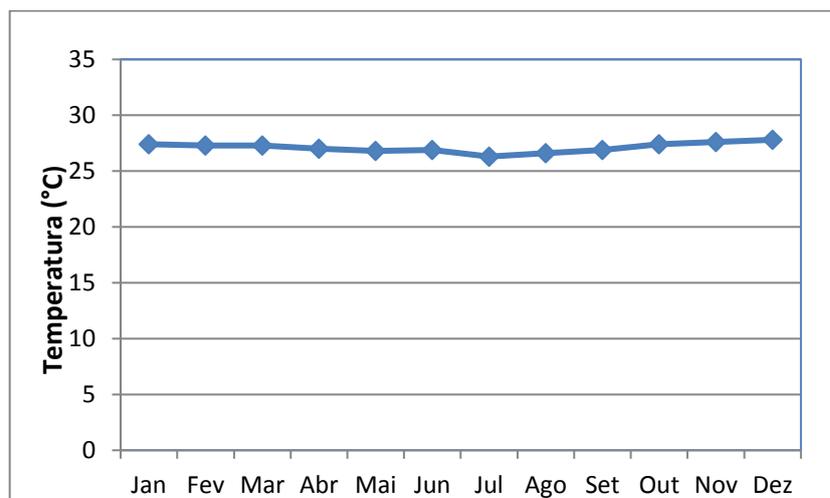
Gráfico 04 – Precipitação média mensal de Fortaleza (1983-2013)



Fonte: Posto meteorológico do Campus do PICI.

Com relação à temperatura, esta apresenta-se praticamente estável ao longo do ano, característica típica das regiões tropicais, sendo que as amplitudes mensais variam muito pouco. A média da série histórica é de 27,0 °C. No gráfico 05, encontram-se registradas e visualizadas as temperaturas médias mensais para o município de Fortaleza. É importante destacar, entretanto, a variação diurna da temperatura, que apresenta elevados valores durante o dia e valores mais amenos durante a noite. A variação térmica dio-noturna é importante para o desenvolvimento dos processos intempéricos físicos, contribuindo para a formação da paisagem local.

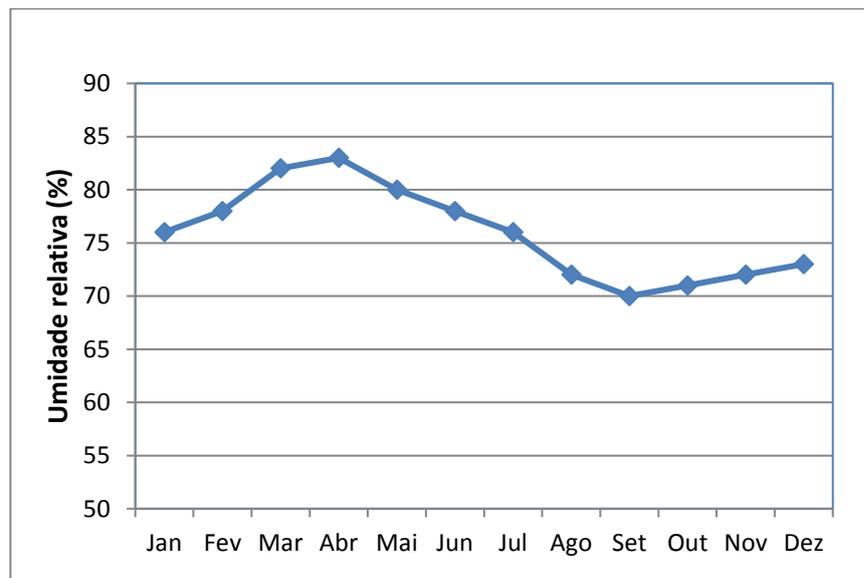
Gráfico 05 – Temperatura média mensal de Fortaleza (1983-2013)



Fonte: Posto Meteorológico do Campus do Pici.

Em se tratando da umidade relativa do ar, observa-se que os valores guardam relação com a precipitação. Apresentam-se mais elevados durante o período chuvoso (entre fevereiro e maio) e mais baixos no período seco, principalmente entre setembro e novembro. Os valores médios variam de 70% para o mês de setembro a 83% para março e abril (GRÁFICO 06). Apesar da variação sazonal significativa na umidade relativa, a proximidade do oceano assegura valores relativamente elevados para todos os meses do ano.

Gráfico 06 – Umidade Relativa média de Fortaleza (1983-2013)

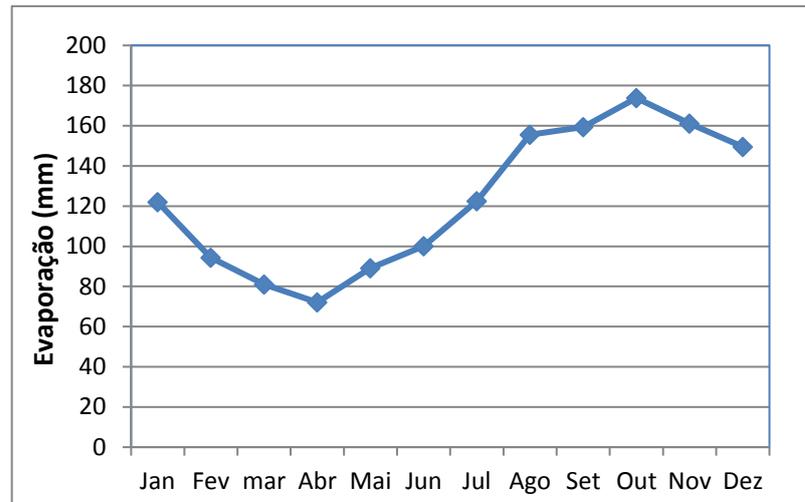


Fonte: Posto Meteorológico do Campus do PICI.

A nebulosidade, assim como a umidade, apresenta relação com a precipitação, com valores mais elevados durante os meses de maior pluviosidade e mais baixos nos meses mais secos, variando de 04 a 06 décimos. Já a insolação, ao contrário, apresenta-se mais elevada no período seco e mais baixa no chuvoso. Os valores médios variam de 155,4 horas de sol em março a 298,9 horas de sol em outubro.

A evaporação é bastante elevada em Fortaleza, já que a insolação e a temperatura também são elevadas. Além disso, os ventos também sopram com velocidades importantes. De acordo com o Gráfico 07, percebe-se que os valores de evaporação mais elevados ocorrem no período seco, enquanto os valores mais baixos, no período chuvoso. Os valores médios variam de 72,1 mm em abril até 173,8 mm em outubro.

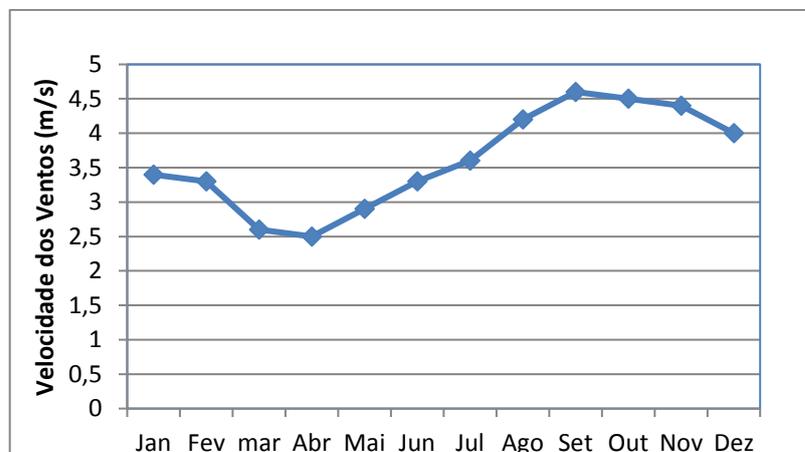
Gráfico 07– Evaporação média mensal de Fortaleza (1983-2013)



Fonte: Posto Meteorológico do campus do PICI.

Durante todo o ano sopram ventos do quadrante E-SE pela influência acentuada do anticiclone do Atlântico Sul, sistema de alta pressão de onde se originam os alísios de SE. Contudo, no período das chuvas, tem-se também, embora pouco expressiva, a presença de ventos de NE, principalmente, em anos mais chuvosos, influenciados pelo deslocamento mais meridional da ZCIT. A velocidade dos ventos apresenta-se maior no período seco, destacando-se os meses de setembro (4,7 m/s), outubro (4,7 m/s) e novembro (4,5 m/s), quando atingem as maiores velocidades médias, período em que o centro de ação do anticiclone do Atlântico Sul se encontra mais fortalecido. As menores velocidades são observadas nos meses de abril e março com valores médios de 2,6 e 2,7 m/s, respectivamente (GRÁFICO 08 E QUADRO 05).

Gráfico 08 – Velocidade média mensal dos ventos para Fortaleza (1983-2013)



Fonte: Posto Meteorológico do Campus do Pici.

Quadro 05 – Direção média dos ventos para Fortaleza (2000-2010)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2005	E	E	E	E	E	SE	E	E	E	E	E	E
2006	E	E	E	E	E	SE	SE	E	E	E	E	E
2007	E	E	E	E	E	SE	SE	SE	E	SE	E	E
2008	E	E	C	C	C	SE	E	E	E	E	E	E
2009	E	E	E	C	C	SE	SE	SE	E	E	SE	E
2010	E	E	E	E	E	SE	E	E	E	E	E	E
2011	E	E	E	E	E	SE	SE	E	E	E	E	E
2012	E	E	SE	E	E	E	SE	E	SE	E	E	E
2013	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E

Fonte: Posto Meteorológico do campus do PICL.

Do ponto de vista dos seus aspectos físico-naturais, a cidade detém um complexo mosaico de sistemas ambientais que integram sua paisagem: a planície litorânea com faixas de praia e terraços marinhos, dunas móveis, dunas fixas, e planícies fluvio-marinhas com manguezais; áreas de inundação sazonal, que são planas e sujeitas a inundações periódicas em certos períodos do ano; o tabuleiro pré-litorâneo, de maior predominância dentro de Fortaleza, com poucas restrições ao uso e ocupação do solo do ponto de vista ambiental, por ser uma área de poucos acidentes, que favorece a implantação de habitações e infraestrutura; por fim, a transição de tabuleiros pré-litorâneos e depressão sertaneja e os morros residuais (SOUZA *et al*, 2009).

As principais bacias hidrográficas são a do Rio Cocó e do Rio Maranguapinho, que se espalham através de lagoas e de áreas de inundação sazonal, permeadas de contradições de uso e ocupação do solo; a terceira bacia seria a do Rio Ceará.

3.1.2 - Aspectos socioeconômicos

Fortaleza é uma metrópole e, por isso, apresenta uma realidade socioespacial peculiar a esse fenômeno, a qual é definida como:

A metrópole é a forma histórica de organização do espaço geográfico. Um tipo específico de hábitat humano. A forma pela qual expressa o maior nível de adensamento populacional existente na superfície terrestre. Trata-se de uma massa contínua de ocupação humana e de edificações contíguas, sem paralelo no globo. Uma

grande aglomeração de pessoas e espaços socialmente construídos, de magnitude ímpar na história. O fato metropolitano é, portanto, temporal e espacialmente singular, expressando uma particularidade do mundo contemporâneo (DIAS, 2012).

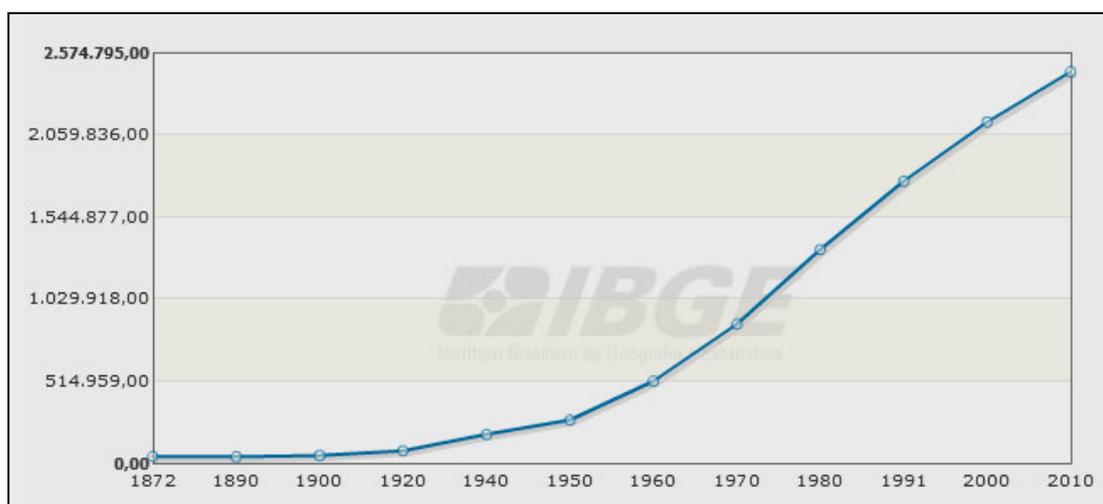
De acordo com essa autora, os grandes aglomerados metropolitanos tornaram-se a expressão máxima da sociedade cada vez mais urbana. A metrópole tem uma importância diferenciada, por concentrar em seu espaço atividades políticas, econômicas e sociais, numa intrínseca e complexa relação, que a coloca em movimento, conferindo-lhe característica cada vez mais complexa e heterogênea, permeadas por enormes contrastes sociais, de acordo com Carlos (2007):

A metrópole aparece hoje, como manifestação espacial concreta de um fenômeno que está posto de forma clara no mundo moderno, qual seja, o espaço se reproduz a partir do processo de constituição da sociedade urbana apoiado no aprofundamento da divisão espacial do trabalho, na ampliação do mercado mundial, na eliminação das fronteiras entre os estados, e na generalização do mundo mercadoria. (CARLOS, 2007, p. 35).

Para a autora, esse processo acarreta grandes mudanças no espaço, atribuindo aos lugares metropolitanos configurações mundiais, que extrapolam a própria realidade nacional. A produção do espaço metropolitano de Fortaleza realiza-se na relação combinada de diversos agentes de produção espacial: o Estado, promotores imobiliários, industriais, população de trabalhadores empregados, trabalhadores não empregados, cuja relação contraditória desenha mosaico urbano de múltiplas facetas.

Fortaleza é a cidade polo da RMF, concentrando capitais, investimentos estatais, serviços, lazer, estabelecimentos comerciais e postos de trabalho. Atualmente, as principais atividades da metrópole estão ligadas ao setor de serviços. O intenso processo de urbanização e industrialização em Fortaleza, sobretudo a partir de 1950, contribuiu para o crescimento populacional nessa cidade (FIGURA 13). Ressalta-se que esses processos ocorreram em virtude da intervenção estatal voltada para modernização.

Figura 13 - Evolução da população em Fortaleza de 1872 a 2010



Fonte: Séries estatísticas do IBGE (1872 – 2010).

Junto ao crescimento populacional e os problemas sociais, sobretudo a partir da década de 1950, houve um agravamento das questões ambientais em Fortaleza, tais quais: desconforto térmico, inundações urbanas, poluição atmosférica, entre outros (MOURA, 2006; FREITAS, 2016).

Infelizmente, enquanto crescem a frota de veículos e o congestionamento em ruas e avenidas, poucas são as iniciativas visando a reduzir a emissão de gases poluentes na metrópole. A cidade não dispõe de mecanismo capaz de auferir os gases poluentes emitidos por veículos automotivos e que são lançados na atmosfera.

No tocante à falta de controle da qualidade do ar que respiramos, é necessário lembrar que uma das poucas ações nesse sentido, o Programa de Combate à Fumaça Negra, desenvolvido pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), existente desde 1990, dispõe atualmente de apenas uma equipe para atender a Capital e o Interior do Estado.

Mesmo dispondo de apenas uma equipe, composta por um técnico e coordenador, quatro fiscais e uma viatura para fiscalizar todo Estado, esse trabalho acontece na capital, na região metropolitana e no Interior, e efetua o controle da emissão de fumaça negra pelos veículos automotores do ciclo diesel. A emissão de fumaça negra é o resultado de uma combustão incompleta e está associada a problemas operacionais e de manutenção, podendo acarretar doenças relacionadas ao aparelho respiratório e cardiovascular, bem como alterações no clima terrestre.

No entanto, as quatro estações manuais que faziam a medição da qualidade do ar em pontos críticos de poluição de Fortaleza e em Maracanaú foram desativadas em 2007. Na Capital, elas funcionavam na Avenida Imperador, no centro da cidade; na Av. Presidente

Castello Branco (Leste-Oeste) e na Av. Juscelino Kubitschek, no bairro Passaré. A estação de Maracanaú era localizada no Conjunto Habitacional Acaracuzinho, próximo ao Distrito Industrial, área de concentração de emissões de gases na atmosfera. Em 2010, a SEMACE anunciou licitação para aquisição de equipamentos mais modernos para a implantação de novas 11 estações. Até hoje, contudo, a medida não foi implementada.

Ainda em consonância com Dias (2012), a partir do ano 1950, vultuosos investimentos públicos convergiram na ampliação da rede industrial de Fortaleza, captados como incentivos da Superintendência para Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Na leitura de Silva (2007), constata-se relação entre tais investimentos e a formação da metrópole:

A especificidade de Fortaleza prende-se a fatores estruturais e conjunturais, explicativos da expansão recente da cidade destacando-se, dentre eles, a instalação de equipamentos e serviços de grande porte que começaram a apresentar os primeiros indícios do que viria a ser a metrópole fortalezense (SILVA, 2007, p.102).

O dinamismo econômico e comercial concentrado em Fortaleza aprofundou desigualdades em relação às cidades interioranas e reforçaram a corrente de migração dentro do estado do Ceará, em seus fluxos convergentes para a capital. O crescimento industrial, as mudanças no meio rural impostas pela concentração fundiária, o avanço do capital e os efeitos da seca, foram fatores preponderantes para impulsionar esse crescimento. Tais migrações campo-cidade ocorreram em todo o país. Desse modo, em meio à urbanização e metropolização brasileira, Fortaleza arrasta consigo a metropolização de um espaço, cuja concentração com relação ao território cearense aparece como uma das fontes mais eloquentes de desigualdade (SILVA, 2007).

A RMF guarda peculiaridades desde o início de sua formalização. Foi criada em 1973 de forma compulsória pelo Estado, ou seja, sem que o processo de metropolização tivesse de fato iniciado, diferente do que ocorreu com outras cidades brasileiras, onde o processo de metropolização foi o propulsor da institucionalização. Atualmente conta com 15 municípios com diversificadas funções, tipos de interação entre si e com a metrópole, e processos de produção espacial “apresentando temporalidades bem como territórios distintos” (SILVA, 2009, p.15).

Além de Fortaleza, enquanto centro econômico, populacional, e de comando político-administrativo da Região Metropolitana, os municípios que hoje a compõem são: Aquiraz, Caucaia, Maranguape e Pacatuba (pertencentes à RMF desde o ano de criação, em

1973); Maracanaú (anexado em 1986, após desmembramento do município de Maranguape); Eusébio e Guaiuba (incluídos em 1991); Itaitinga, Chorozinho, Pacajus, Horizonte, e São Gonçalo do Amarante (ingressos na RMF em 1999) e, por fim Pindoretama e Cascavel, incorporados recentemente, no ano de 2009.

Segundo Dias (2012), apesar da quantidade de municípios envolvidos no processo de metropolização, há uma predominância de relações estabelecidas diretamente com Fortaleza do que entre os municípios que compõem a RMF. Isso reforça a posição de Fortaleza enquanto núcleo da região metropolitana, atribuindo-lhe um caráter macrocefálico, a concentração populacional em relação aos municípios que fazem parte da RMF reforça a consolidação urbana da cidade.

A partir do ano 2000, Fortaleza apresenta consolidado processo de metropolização sobre os municípios periféricos que compõem a RMF, sobretudo pela reestruturação produtiva e a desconcentração de atividades industriais para os municípios. As políticas de descentralização começaram por volta da década de 1970 com a implantação do Distrito Industrial em Maracanaú, e a construção de grandes conjuntos habitacionais na periferia de Fortaleza, logo após dispersando-os para Caucaia, Pacatuba e Maracanaú.

No entanto, a expansão da metrópole foi marcada pela produção espacial dada não somente pela questão industrial, apesar de seu grande valor, mas através da ação do Estado, da população, de promotores imobiliários e proprietários de terra na busca pela construção da cidade capitalista. Fortaleza, portanto, apresenta complexidade espacial e faz pensar a cidade enquanto produto da relação espaço-tempo de diferentes atores articulados para dominar a cidade em seu benefício. Nesse jogo de interesses, o Estado é o principal mediador de conflitos entre grupos diferenciados, apesar de possuir interesses específicos, tal como a apropriação da renda gerada pela arrecadação para dirigir os destinos da cidade (DIAS, 2012).

Em Fortaleza, observa-se a presença de extensa periferia urbana fruto de processo desigual de expansão da metrópole e da seletividade espacial, decorrente da concentração de renda e concentração fundiária no campo. A atuação do Estado, mediando interesses das elites políticas e econômicas em detrimento das necessidades da população, é uma política que repercute não apenas no interior da cidade, mas em toda região. De acordo com Silva (2009):

Na RMF, a formação de extensas periferias urbanas adquire muita evidência, especialmente em Fortaleza e seu entorno. Observa-se um acentuado processo de transferência da população pobre para os municípios localizados ao sul e sudoeste do município pólo. Agravam a situação de pobreza, a precariedade e o déficit que

atingem os setores da infraestrutura, equipamentos e serviços nas áreas do saneamento básico, habitação, saúde e educação (SILVA, 2009, p.17).

De acordo com Dias (2012), o que foi colocado como “transferências” de população para as zonas periféricas da RMF pode ser entendido como deslocamento compulsório de populações para conjuntos habitacionais periféricos. Boa parte dos conjuntos construídos com recursos do Banco Nacional de Habitação (BNH), nas décadas de 1970/1980, serviu aos interesses da expansão industrial direcionada para Maracanaú, que necessitava, além de infraestrutura hidráulica e de esgoto, também de energia elétrica e disponibilidade de mão-de-obra barata para ocupação dos postos de trabalho, com seu exército de reserva ainda maior que o contingente de trabalhadores, nos moldes que apontava o marxismo, a respeito da população submetida no desejo de acumulação ampliada do capital.

Ainda em consonância com essa autora, a expansão de Fortaleza se dá em meio a processo de desigualdades sociais atreladas a industrialização e urbanização capitalista. A população se concentra na capital e forma um exército de reserva para servir aos interesses capitalistas de determinados segmentos produtivos urbanos. O excedente de trabalhadores favorece a expansão econômica capitalista, dando condições à expansão industrial na RMF. Contraditoriamente, possibilita exploração da força de trabalho, que é tratada sem prioridade, sobretudo na comparação entre investimentos sociais e produtivos em Fortaleza.

3.1.3 – A frota de veículos de Fortaleza e sua Região Metropolitana no panorama brasileiro

O sistema de transportes de uma cidade está constantemente na pauta da imprensa e comumente é assunto entre os indivíduos leigos no que diz respeito à engenharia de transportes, mas também entre técnicos e acadêmicos. São inúmeras as “receitas” para resolver os problemas do setor (AZEVEDO FILHO, 2012). As preocupações com o meio ambiente são cada vez maiores, e o sistema de transportes é um dos principais causadores de impactos negativos.

De acordo com os dados do DENATRAN, entre 2006 e 2016, a composição da frota de veículos automotores no Brasil se alterou substancialmente, principalmente em favor das motos, sobretudo em Belém¹³. É preciso lembrar que a frota é composta ainda por outros

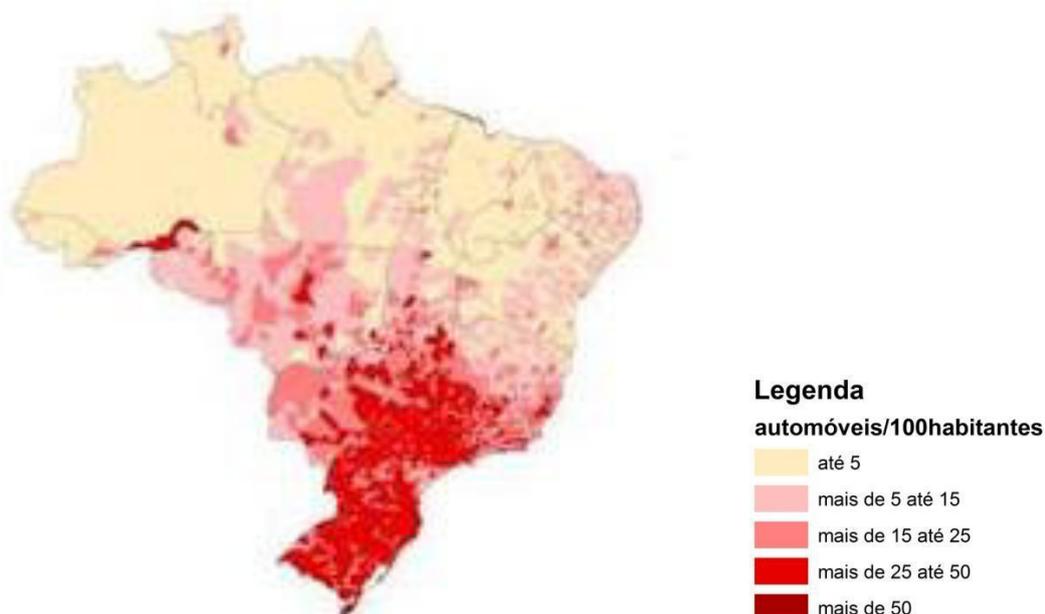
¹³ Belém é a região metropolitana onde ocorre o maior crescimento de motos no Brasil (Observatório das Metrôpoles, 2013).

tipos de veículos (Quadro 06) que, somados, representam apenas 7,9% do total. No entanto, os automóveis e motos são os veículos que compõem preponderantemente o tráfego urbano.

O Brasil terminou o primeiro semestre de 2016 com uma frota total de 92.281.081 veículos automotores. Em 2006 havia 45.372.640 milhões de veículos. Houve, portanto, um incremento da ordem de 46,9 milhões, ocorrendo, assim, um crescimento superior a 103,6% entre esses anos. Ressalta-se que o crescimento populacional no Brasil, entre os dois últimos Censos Demográficos (2000 e 2010), foi de 11,8%.

De acordo com o Observatório das Metrópoles (2013), esse crescimento elevado de automóveis e motos no conjunto da frota de veículos automotores também ocorreu nas principais regiões metropolitanas¹⁴, acompanhando o desempenho nacional. A região Sudeste é a mais motorizada do território brasileiro. Em segundo lugar, aparece a Região Sul. A Região Nordeste, por sua vez, ocupa o terceiro lugar, representando 13,5% de todo o crescimento da frota nacional. As regiões que menos contribuíram para o crescimento da frota de veículos foram o Centro-Oeste e Norte, respectivamente (FIGURA 14). A mancha mais escura, evidenciada na escala de cores desta figura, representa os municípios onde a taxa de motorização é superior a 50 automóveis para cada 100 habitantes.

Figura 14 – Taxa de motorização nas regiões brasileiras



Fonte: Observatório das Metrópoles (2013) com dados do DENATRAN.

¹⁴ Belém, Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Fortaleza, Goiânia, Manaus, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo.

Quadro 06 – Termos e definições dos veículos

TERMOS E DEFINIÇÕES	
AUTOMÓVEL	Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, exclusive o condutor.
BONDE	Veículo de propulsão elétrica que se move sobre trilhos.
CAMINHÃO	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroçaria, e peso bruto total superior a 3500 Kg.
CAMINHÃO TRATOR	Veículo automotor destinado a tracionar ou arrastar outro.
CAMINHONETE	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com peso bruto total de até 3500 Kg.
CAMIONETA	Veículo automotor, misto, com quatro rodas, com carroçaria, destinado ao transporte simultâneo ou alternativo de pessoas e carga no mesmo compartimento.
CHASSI PLATAFORMA	Veículo inacabado, com equipamento que permita seu deslocamento em vias de rolamento, preparado para receber carroçaria de ônibus
CICLOMOTOR	Veículo de duas ou três rodas, provido de um motor de combustão interna cuja cilindrada não exceda a 50 cm ³ (3,05 polegadas cúbicas) e cuja velocidade máxima de fabricação não exceda a 50 Km/h.
MICROÔNIBUS	Veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para até 20 passageiros.
MOTOCICLETA	Veículo automotor de duas rodas, com ou sem side-car, dirigido em posição montada.
MOTONETA	Veículo automotor de duas rodas, dirigido por condutor em posição sentada.
ÔNIBUS	Veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para mais de 20 passageiros, ainda que, em virtude de adaptações com vista à maior comodidade destes, transporte número menor.
QUADRICICLO	Veículo de estrutura mecânica igual às motocicletas, possuindo eixos dianteiro e traseiro, dotados de quatro rodas.
REBOQUE	Veículo destinado a ser engatado atrás de um veículo automotor.
SEMI-REBOQUE	Veículo de um ou mais eixos que se apóia na sua unidade tratora ou é a ela ligado por meio de articulação.
SIDE-CAR	Carro ou caçamba provido de uma roda acoplada na lateral da motocicleta.
OUTROS	Argumento que não se enquadra em nenhuma definição estabelecida.
TRATOR ESTEIRA	Trator que se movimenta por meio de esteira.
TRATOR RODAS	Trator que se movimenta sobre rodas, podendo ter chassi rígido ou articulado.
TRICICLO	Veículo rodoviário automotor de estrutura mecânica igual à motocicleta dotado de três rodas.
UTILITÁRIO	Veículo misto caracterizado pela versatilidade do seu uso, inclusive fora da estrada.

Fonte: Ministério das Cidades, Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN, Sistema Nacional de Registro de Veículos/RENAVAM, Sistema Nacional de Estatística de Trânsito/SINET.

A presente pesquisa considerou para a sua análise: automóvel, caminhão, caminhonete, camioneta, micro-ônibus, motocicleta, motoneta, ônibus. Estes foram classificados, como já citado anteriormente, em veículos do Ciclo Otto e Ciclo Diesel.

O Estado do Ceará conta com uma frota de 2.807.781 veículos, fechando o primeiro trimestre de 2016 com a segunda maior frota entre os estados das regiões Norte e Nordeste do país, perdendo apenas para a Bahia (FIGURA 15). Os dados revelam um acréscimo de 168.384 mil unidades automotivas, entre carros, motos, caminhões, caminhonetes, no intervalo de apenas um ano, considerando o período de março de 2015 a março de 2016. O número ainda representa 18,2% de toda a frota da região Nordeste, somada em 15.425.189 mil veículos. Considerando apenas as motos, o Estado tem a terceira maior quantidade do Brasil, com mais de 1 milhão de unidades, ficando atrás apenas dos estados de São Paulo e Minas Gerais (DENATRAN, 2016).

Figura 15 – *Ranking* das maiores frotas de veículos do Brasil



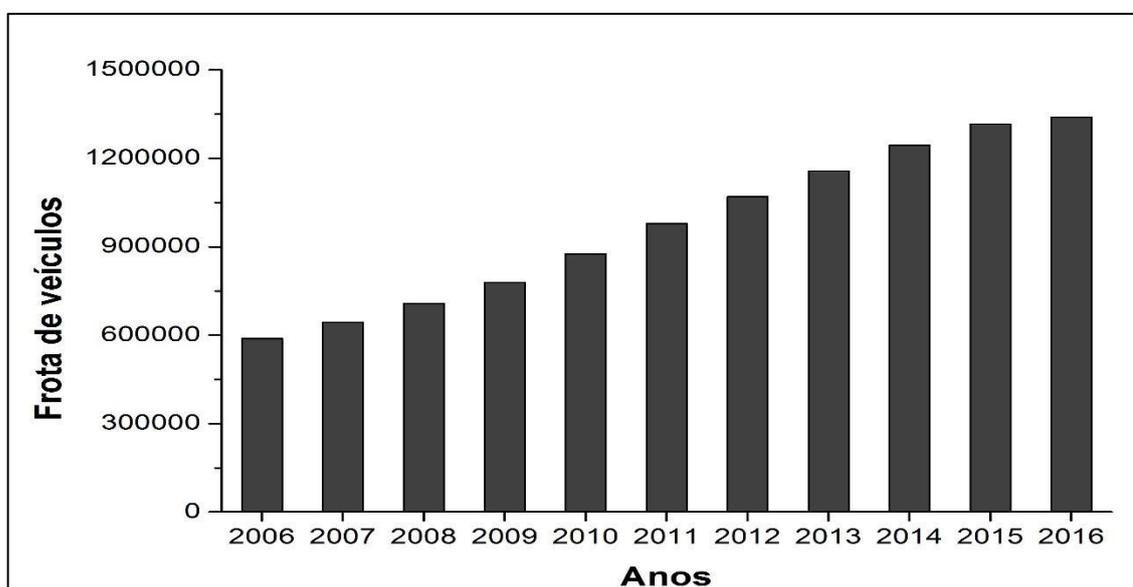
Fonte: <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br>.

A frota da RMF era de 589.059 automóveis, em 2006. Já no final do primeiro semestre de 2016, passou para 1.339.339 veículos, representando um acréscimo de 127,37% entre esses

10 anos. Entre os cinco municípios¹⁵ com as maiores frotas dentro dessa região, tem-se, respectivamente, em ordem decrescente: Fortaleza (1.016.703), Caucaia (81.562), Maracanaú (63.393), Maranguape (23.130) e Pacajus (20.819).

O número de veículos nas ruas de Fortaleza representa 36,2% do total da frota do Ceará. O número de carros e motos nessa cidade aumentou em aproximadamente 14 mil novas unidades em apenas um ano (DENATRAN, 2015). O número representa não só a maior frota dentro da RMF, mas também a maior frota entre as capitais nordestinas. Visualiza-se, através dos Gráficos 09 e 10, a evolução da frota de veículos da RMF e de Fortaleza.

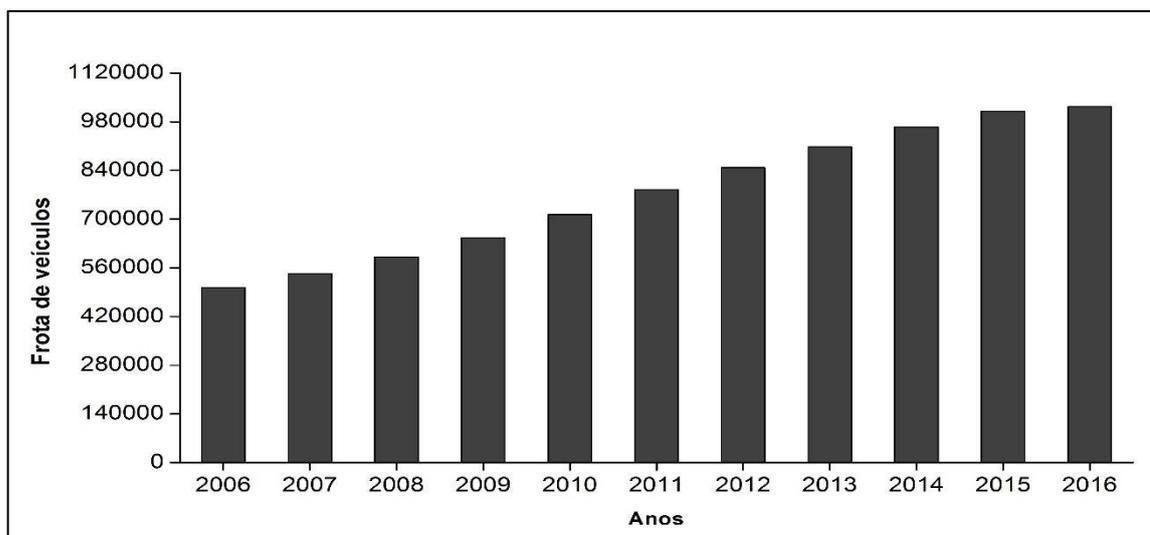
Gráfico 09- Evolução da frota de veículos da RMF



Fonte: Denatran (Dados de dezembro de cada ano). Organizado por Freitas, 2016.

¹⁵ Municípios com as menores frotas: Guaiuba (3.749), Pindoretama (4.554), Chorozinho (5.243), Itaitinga (10.061), São Gonçalo (13.294), Pacatuba (13.379), Cascavel (17.581), Horizonte (18.501), Aquiraz (19.111) e Eusébio (21.076).

Gráfico 10 - Evolução da frota de veículos de Fortaleza



Fonte: Denatran (Dados de dezembro de cada ano). Organizado por Freitas, 2016.

É perceptível que quanto mais carros nas ruas, proporcionalmente serão maiores os problemas do trânsito, assim como a necessidade de se pensar estratégias para resolver ou minimizar os danos, tais quais obras de infraestrutura, como: a construção de túneis, viadutos e o alargamento de vias, assim como o uso de binários, ciclofaixas e faixas exclusivas para ônibus. Tais obras estão sendo realizadas pela atual gestão da Prefeitura de Fortaleza, previstas no Plano de Ações Imediatas de Transporte e Trânsito de Fortaleza (PAITT), para reordenar o tráfego de veículos e ao mesmo tempo incentivar o uso de outros modais.

Azevedo Filho *et al* (2012) avalia que túneis e viadutos são estratégias de curto prazo, pois obras que aumentem o sistema viário de uma maneira geral proporcionalmente aumentam o número de veículos. Binários são positivos, na avaliação desse teórico, pois além de ordenar o trânsito de uma determinada região, incentivam o uso de bicicletas, com as ciclofaixas, e do transporte coletivo, com as faixas exclusivas para ônibus. Para ele, no entanto, o incentivo ao pedestre ainda carece de mais atenção.

Quanto mais expandir o espaço, mais carros virão. É preciso pensar em algo com uma vida mais longa. Para esse autor, o aumento da frota, por si só, não é o mais preocupante para a cidade, mas sim a forma como o automóvel é utilizado. Além da frota, como já citado anteriormente, é preciso regular o uso, fiscalizar a emissão de poluentes, controlar a velocidade.

Ainda de acordo com esse autor, ter o próprio veículo é objeto de desejo e consumo, estimulado pelas empresas automobilísticas. Porém o carro em si não se configura como um problema desde que se use na hora adequada. Uma viagem para trabalho e estudo, por exemplo,

não seria sustentável, e sim o transporte coletivo. Deve o carro ser usado somente para realizar passeios, para fazer compras, para viajar, entre outros.

Para Azevedo Filho *et al* (2014), o transporte público seria o mais indicado para a mobilidade urbana sustentável da RMF, pois diminuiria a quantidade de veículos nas vias de circulação. Uma vez atendida a orientação dada por esse especialista, teríamos uma menor emissão de poluentes na área de estudo, o que proporcionaria uma melhor qualidade de vida para seus habitantes.

3.2 – Maracanaú

3.2.1 - Caracterização climática e geoecológica

Maracanaú situa-se na porção norte do Estado do Ceará, fazendo parte da RMF. Localiza-se a 3°52'36" de latitude sul e a 38°37'32" de longitude a oeste de Greenwich, distando 22 quilômetros do centro de Fortaleza, capital do Estado. O município possui, aproximadamente, 105,7 km² de extensão territorial (IPECE, 2010), cujos limites correspondem ao Norte com Fortaleza e Caucaia, ao Sul e Leste com Pacatuba e a Oeste com Maranguape.

O Município, assim como os demais da RMF, caracteriza-se pela sazonalidade de sua precipitação e por elevadas temperaturas o ano todo. Conforme Magalhães (2013), a localização territorial e latitudinal da RMF (paralelo ao Equador) favorece intensa insolação o ano todo, proporcionando elevadas temperaturas com fracas amplitudes térmicas, e a atuação de diferentes sistemas atmosféricos estabelecendo a sazonalidade da precipitação.

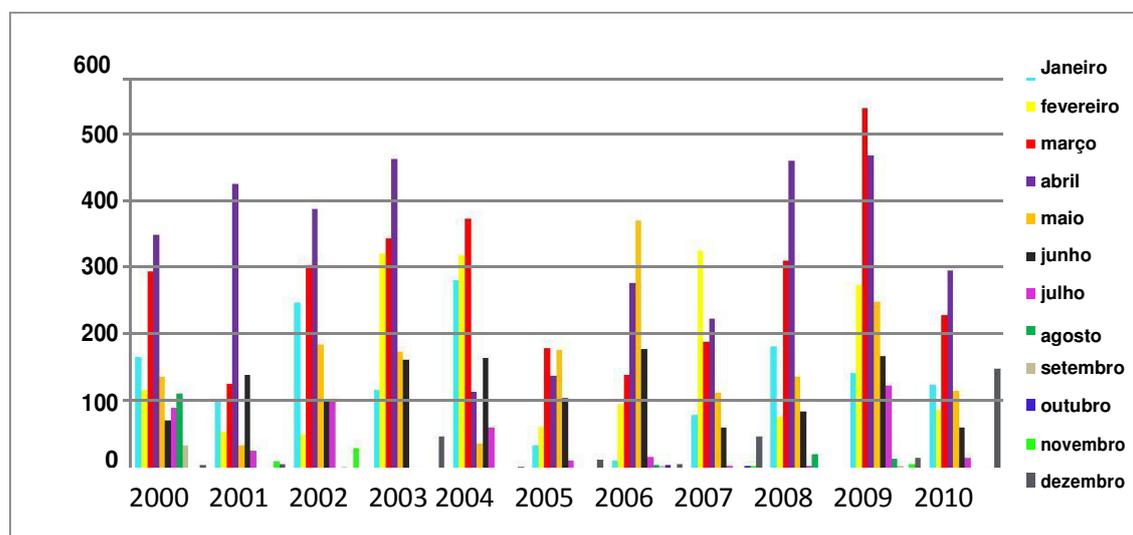
Quanto aos aspectos pluviométricos, Maracanaú exhibe uma acentuada variação temporal do regime de chuvas, característica comum aos demais municípios da RMF. A pluviosidade média é de 1.399,9 mm, com períodos chuvosos de janeiro a maio com variações entre 2.700 e 600 mm, passível de gerar excedentes nos meses de fevereiro a junho (FUNCEME, 2010). Em relação aos aspectos térmicos, não há grandes variações, tendo em vista sua localização na zona intertropical, que se reflete no pequeno ângulo de incidência dos raios solares, resultando em um clima quente e de temperaturas médias elevadas.

As médias térmicas ficam em torno de 26 a 28°C, havendo variações mais significativas nos limites com as serras de Aratanha/Pacatuba e Maranguape. A região registra influência das massas de ar equatoriais e tropicais, definindo seu clima como tropical equatorial, com até 6 meses secos, de acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007).

Ao iniciar uma análise acerca do regime pluviométrico de Maracanaú, é importante destacar que o município não possui estação meteorológica, contando apenas com um posto pluviométrico mantido pela FUNCEME, do qual utilizou-se uma série confiável de dados diários de precipitação, entre os anos 2000 e 2010. O regime pluviométrico de Maracanaú é marcado por chuvas nos períodos de verão/outono, concentradas no primeiro semestre do ano, especialmente, durante a chamada quadra chuvosa cearense (fevereiro, março, abril e maio), podendo prolongar-se aos meses de junho e julho em anos classificados como muito chuvosos.

É importante destacar os meses de fevereiro e março como aqueles que apresentam o maior número de sistemas atmosféricos atuando sobre a região, como por exemplo, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), os Complexos Convectivos de Mesoescalas (CCM) e a ZCIT. De acordo com os dados da FUNCEME, a quadra chuvosa de Maracanaú concentrou 72,07% do total anual das precipitações para o período estudado (2000 a 2010), evidenciando o poder de concentração de chuvas nesses quatro meses (GRÁFICO 11). O mês de abril apresentou o total pluviométrico mais elevado para toda a série e o mês de outubro, o menor.

Gráfico 11 - Total de precipitação mensal entre os anos 2000 e 2010, Maracanaú



Fonte: FUNCEME. Adaptado por Cajazeira, 2012.

Os meses mais secos correspondem ao período de inverno e primavera, englobando os meses de setembro, outubro e novembro e, em alguns casos, estendendo-se ao mês de dezembro. Outubro, mês mais seco, registrou médias de apenas 2,3 mm, para a série analisada. Com a chegada do verão, em dezembro, os valores de pluviosidade aumentaram gradativamente.

Dezembro de 2009, por exemplo, apresentou total mensal de 151,6 mm de pluviometria. A tabela 08 apresenta os percentuais de chuvas correspondentes ao período chuvoso e seco.

Tabela 08- Contrastes da quantidade de chuvas do período inverno/primavera e verão/outono

	Verão/outono (chuvoso)	Inverno/primavera (seco)
2000	82,01%	17,99%
2001	94,54%	5,46%
2002	90,23%	9,77%
2003	96,49%	3,51%
2004	94,77%	5,23%
2005	95,66%	4,34%
2006	95,34%	4,66%
2007	93,17%	6,83%
2008	97,21%	2,79%
2009	91,05%	8,95%
2010	84,22%	15,78%

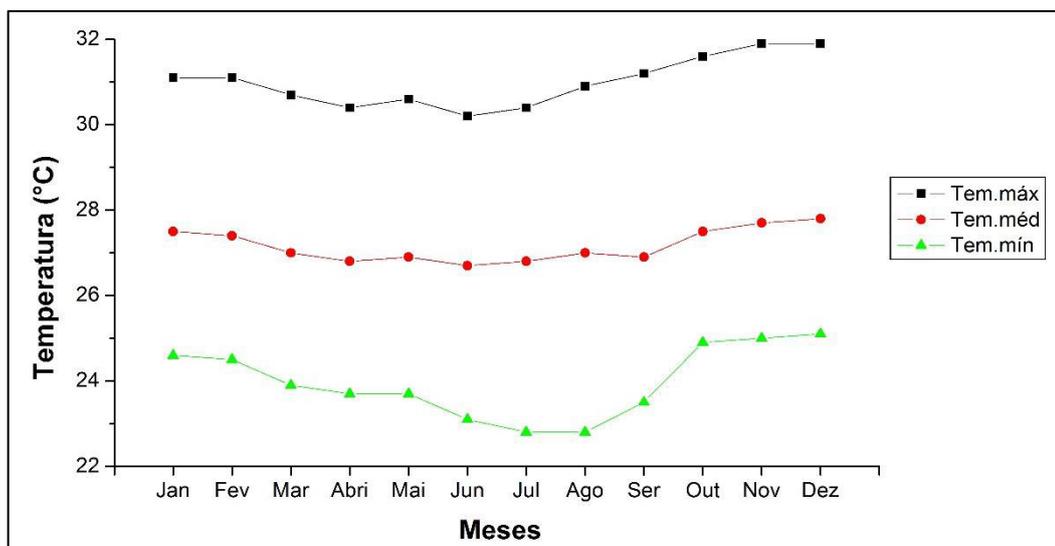
Fonte: FUNCEME.

Com relação ao regime pluviométrico anual de Maracanaú, nota-se que os totais anuais de chuvas sofrem intensa variabilidade, podendo ocorrer anos de chuvas excessivas, como o ano de 2009, e anos com chuvas escassas, como o de 2005. A média geral das precipitações na série analisada (2000 a 2010) foi de 1.295,8 mm (GRÁFICO 09).

Na análise das temperaturas do ar em Maracanaú, observam-se características típicas dos climas tropicais, com elevadas temperaturas o ano todo e fraca amplitude térmica. Observa-se que as mesmas apresentam comportamento padrão ao longo do ano, mantendo-se elevada no período de inverno (período seco), e sofrendo relativa queda no verão (período mais chuvoso). Ou seja, os valores decrescem no primeiro semestre, alcançando as mais baixas temperaturas nos meses de junho e julho, elevando-se no segundo semestre, alcançando seu máximo no mês de dezembro.

Nos quatro meses mais chuvosos, a média das temperaturas do ar permaneceu em torno dos 26/27°C. Fora da quadra chuvosa foi possível observar que as médias de temperatura variaram entre 26 e 28°C. No Gráfico 12 é possível observar os meses com temperaturas mais elevadas e aqueles com temperaturas mais brandas. Nota-se que os meses de outubro, novembro e dezembro foram os que apresentaram as maiores médias tanto das máximas, quanto das mínimas. O mês de dezembro, por exemplo, apresentou média máxima elevada (31,8°C) e foi o mês que registrou as maiores temperaturas médias (27,8°C) da série climatológica utilizada.

Gráfico 12 - Temperaturas médias das máximas e mínima mensais, e temperatura média geral, 2000 a 2010



Fonte: INMET. Organizado por Freitas, 2016.

Os meses de janeiro e fevereiro também se mostraram bastante quentes, ultrapassando a média térmica de 31°C. No entanto, com a chegada da quadra chuvosa e a maior frequência de atuação dos sistemas produtores de chuvas, as temperaturas começam a declinar, muito embora de forma bem discreta, característica básica do clima nordestino. Março (média máxima 30,7°C e média mínima 23,9°C), abril (média máxima 30,4°C e média mínima 23,7°C) e maio (média máxima 30,6°C e média mínima 23,7°C), meses de maiores índices de precipitação, apresentaram maior homogeneidade no que diz respeito às temperaturas máximas e mínimas.

Com relação às médias máximas e mínimas, verificou-se que os meses de junho (média máxima 30,2°C e média mínima 23,1°C), julho (30,4°C e 22,8°C) e agosto (30,9°C e 22,8°C) apresentaram os menores valores, sendo este último um dos meses com temperaturas mais baixas, de acordo com o período analisado. Já o mês de setembro atua como uma espécie de mês de transição. É a partir desse mês que as temperaturas começam a elevar-se (média máxima 31,2°C e média mínima 23,5°C), chegando ao ápice no mês de dezembro

Em relação às características geológicas, Almeida (2005) destaca que a compartimentação geomorfológica de Maracanaú abarca duas unidades principais: Superfície Sertaneja e Planaltos Residuais. Topograficamente, o município apresenta baixas altitudes, sendo somente nas porções terminais das Serras de Maranguape e Pacatuba/Aratanha, e em alguns prolongamentos dispersos dessas serras, que os níveis altimétricos vão além das cotas de 500 metros. Nas demais unidades, as cotas não ultrapassam os 100 metros.

A baixa altimetria na maior parte da RMF favorece ao município, por um lado, a entrada de sistemas atmosféricos provenientes do oceano. Por outro lado, as serras de Maranguape e Pacatuba atuam como barreiras topográficas, moldando a convecção local.

Predominam, no município, solos do tipo Argissolos, derivados de sedimentos areno-argilosos da formação de barreiras e produtos de alteração de rochas cristalinas. Esse tipo de solo caracteriza-se pela forte vulnerabilidade à erosão, tornando-se ácido e lixiviado. Apresenta também Planossolos, provenientes de alteração de rochas como gnaíesses e migmatitos, que se caracterizam por serem solos mal drenados, limitados para o uso agrícola, além dos neossolos flúvicos ao longo dos cursos d'água e nas planícies fluviais (ALMEIDA, 2005).

O município encontra-se inserido na Bacia Metropolitana, representada por três sub-bacias de drenagem natural: a composta pelo Rio Maranguapinho e a composta pelo Rio Timbó, afluente do Rio Cocó, além da bacia do Urucutuba. As unidades de vegetação que predominam no município são: o Complexo Vegetacional da Zona Litorânea (Vegetação de Tabuleiros) e a Caatinga Litorânea (Caatinga Arbustiva Densa) (MARACANAÚ, 1998).

Há um evidente processo de desmatamento ocorrendo no município, seja pelas atividades de agricultura e pecuária, ou devido ao próprio processo de industrialização e expansão urbana. Segundo Almeida (2005):

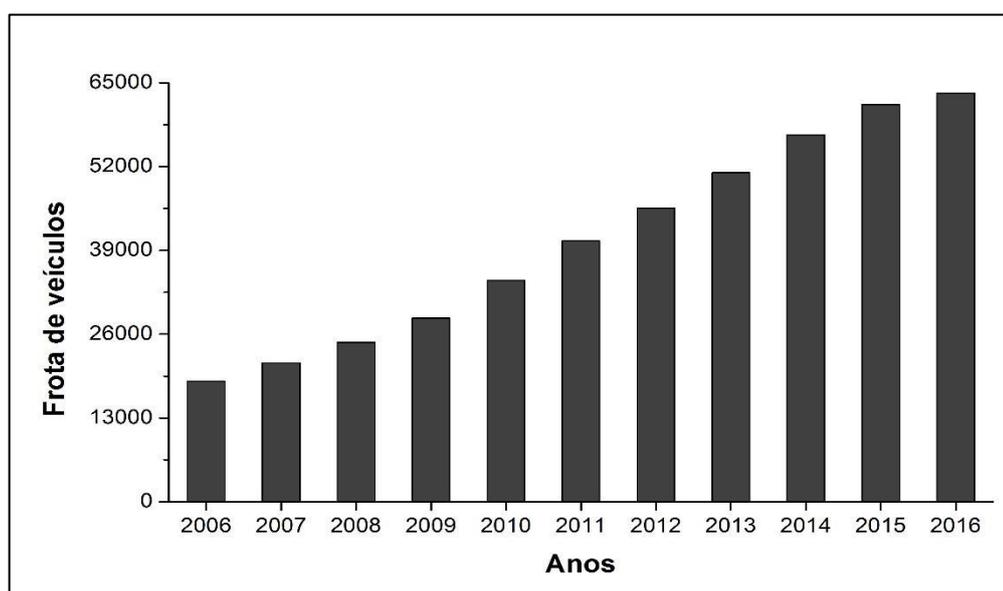
A retirada da cobertura vegetal foi realizada, inicialmente, para a instalação do DIF I, dos conjuntos habitacionais e de outros empreendimentos, e vem sendo executada, continuamente, para a abertura crescente de loteamentos e de lavras clandestinas de areia, barro e rochas. Além do mais, nos agroecossistemas, a vegetação é retirada para a formação de pastagens para o gado, para o cultivo de cana-de-açúcar, para cultivos de subsistência, para a produção de lenha, entre outras (ALMEIDA, 2005, p. 116).

3.2.2 - Aspectos socioeconômicos

Maracanaú destaca-se no contexto metropolitano por sua forte ligação e proximidade com a metrópole Fortaleza, através da CE-060. O Anel Viário, que corta o município, também representa importante via de circulação e convergência com a capital, interligando todas as rodovias que chegam a Fortaleza (BR-020, BR-222, BR-116, CE-065 e CE-040).

Com base em dados estimados pelo IBGE (2016), Maracanaú possui uma população de 223.180 habitantes, dos quais 99,57% habitam a área urbana. Entre os municípios que formam a RMF, é o terceiro em termos de contingente populacional, abaixo, somente, de Fortaleza e Caucaia. A frota de veículos de Maracanaú passou de 18.738 veículos, em 2006, para 63.393 até o fim do primeiro semestre de 2016 (GRÁFICO 13), o que representa um aumento de 238,37% na frota dessa cidade, ficando, também, em terceiro lugar do ranking de maior frota entre os municípios que compõem a RMF.

Gráfico 13 - Frota de veículos de Maracanaú



Fonte: Denatran (Dados de dezembro de cada ano). Organizado por Freitas, 2016.

Atualmente, para se compreender o processo de produção e ocupação do espaço urbano de Maracanaú, faz-se necessário remeter-se às sucessivas intervenções públicas ocorridas ao longo de sua construção histórica, social e econômica, ressaltando a importância de sua ligação com a Capital e a posição de destaque assumida pelo Distrito, no contexto estadual e regional, a partir da década de 1970.

Maracanaú, ainda na situação de Distrito de Maranguape, foi inserido no contexto da economia estadual ao receber as instalações do primeiro Distrito Industrial do Estado do Ceará. Através do Decreto nº. 6.740, em dezembro de 1964, foi desapropriada uma área de 1.013 hectares destinados à implantação do primeiro dos três Distritos que seriam implantados (CAJAZEIRA, 2012).

A construção de um Distrito Industrial (DI) fazia parte do projeto de desenvolvimento industrial do Estado, implementado pelo então governador Virgílio Távora. No entanto, não houve um planejamento específico para a instalação de tais distritos industriais, o que vem acarretando uma série de problemas ambientais e sociais desde então (SUDENE).

Na época, o projeto vinculava-se à política de planejamento e incentivo industrial do Nordeste, promovida pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). A política de industrialização do Nordeste, proposta pela SUDENE, tinha como premissas promover o desenvolvimento regional e mitigar as disparidades da industrialização centrada no Sudeste.

Para atrair cada vez mais indústrias, o governo oferecia incentivos fiscais, financeiros e aumento nos investimentos em serviços e infraestrutura (CARVALHO, 2009). A estratégia de desenvolvimento local atendia aos requisitos exigidos pela SUDENE, “no sentido de que as indústrias que viessem a ser instaladas no Nordeste ficassem fora das capitais metropolitanas, mas mantendo uma relativa proximidade com elas” (CARVALHO, 2009, p. 51), além de Maracanaú ter a disponibilidade de vastos lotes de terra. Antes dessa determinação da SUDENE, as atividades industriais concentravam-se em Fortaleza, ao longo da Avenida Francisco Sá e adjacências.

O processo de industrialização pelo qual passou o então distrito de Maranguape, associado aos interesses políticos e econômicos sob o novo DI, fez com que Maracanaú se emancipasse de Maranguape em 1983, tornando-se município.

Porém, o pleno funcionamento do DI só veio ocorrer no segundo governo de Virgílio Távora, em 1980, pois até então, mesmo com os incentivos federais, faltava infraestrutura necessária ao funcionamento das indústrias e mão-de-obra qualificada para os postos de trabalho oferecidos nas fábricas. Para resolver tais dificuldades, o Governo do Estado criou uma série de incentivos fiscais, financeiros e materiais que deveriam se somar aos incentivos já cedidos pelo Governo Federal, buscando atrair um maior número de empresas. Dentre esses incentivos esteve, a partir de 1979, a construção de grandes conjuntos habitacionais populares na periferia do distrito, como forma de suprir a carência de mão-de-obra existente aproximando os trabalhadores do seu local de trabalho.

Segundo Cajazeira (2012), por trás da criação dos conjuntos habitacionais em Maracanaú havia a crescente necessidade de se reorganizar o espaço urbano Fortalezaense.

A RMF foi ocupada incipientemente até os anos 1960, com raras manchas de ocupação, “o Distrito Industrial iria promover no desenrolar de uma série de políticas, grandes alterações no arranjo socioespacial metropolitano” (SILVA, 2009) tendo, como ponto culminante das

políticas descentralizadoras e de desenvolvimento da RMF, a construção desses conjuntos habitacionais.

Nessa perspectiva, a criação dos conjuntos resolveria, em parte, os problemas de Fortaleza, bem como funcionaria como atrativo para a instalação de mais empresas em Maracanaú, permitindo que os demais municípios da RMF também se desenvolvessem (PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANAÚ, 1998).

Foram então construídos, com financiamento do Banco Nacional da Habitação (BNH), e gerenciados pela COHAB estadual, os conjuntos Industrial I e II (construídos em 1978), Timbó (1979), Acaracuzinho (1980), Jereissati I (1984) e II (1985), além dos conjuntos Novo Maracanaú e Novo Oriente, de iniciativa de cooperativas habitacionais. Os conjuntos surgiam como alternativa de moradia próxima ao emprego, bem como atendia os anseios de uma massa populacional oriunda da RMF, especialmente da capital, atraídos pelo desejo da casa própria, em um lugar com maior infraestrutura e oportunidades de emprego (MARACANAÚ, 1998).

Cajazeira (2012) destaca que o ritmo de ocupação da cidade, a partir da instalação do DI e da construção dos conjuntos habitacionais em seu entorno mudou, por completo, sua dinâmica social e ambiental, gerando problemas que alteraram profundamente sua paisagem e o modo de vida da sua população. Segundo Almeida (2005), tais conjuntos mudaram por completo o espaço urbano de Maracanaú, detendo, hoje, quase um terço dos moradores do município:

Nas proximidades do DIF, foram construídos grandes conjuntos habitacionais a partir de 1979, que totalizaram mais de 20.000 residências, ocasionando um salto no número de habitantes e, conseqüentemente, no processo de expansão urbana de 37.844 habitantes em 1980, para 157.150 em 1991 (ALMEIDA, 2005, p.42).

Devido a sua vocação industrial, Maracanaú detém hoje a segunda maior arrecadação de Impostos sobre Circulação de Mercadoria (ICMS) do Estado, atrás apenas de Fortaleza. Dessa arrecadação, cerca de 82,9% advêm do setor industrial (IPECE, 2011). No que diz respeito ao Produto Interno Bruto municipal, a indústria mais uma vez é responsável pelo montante desse valor, situando Maracanaú entre as cinco maiores economias do Ceará (CARVALHO, 2009). Em 2008, do total do PIB de Maracanaú, aproximadamente 58% foram gerados somente pelo setor industrial.

Desse modo, as transformações sócio-espaciais, ocorridas em Maracanaú, não podem ser dissociadas do modelo de industrialização e urbanização induzida pelo qual passou, e vem passando, o município (MARACANAÚ, 2005). Nessa perspectiva, faz-se necessário ressaltar que a atividade industrial é, atualmente, determinante na dinâmica social e econômica do município.

O Distrito reúne mais de 100 empresas de diversas áreas de atuação, como as têxteis, metalurgia e mecânica, papel e papelão, material elétrico, química, vestuário e calçados, e serviços de construção. A sua produção destina-se tanto para o próprio estado, como para outros estados brasileiros e o exterior (ALMEIDA, 2005).

A cidade possui, atualmente, cinco distritos industriais: o Distrito Industrial de Fortaleza I (DIF I), o Distrito Industrial de Fortaleza III (DIF III), o Distrito Industrial 2000 (DI 2000), e os recém implantados Distritos Industrial do Alto Alegre II e o Distrito Industrial de Piratininga. Dentre os distritos, destacam-se os três primeiros, abrigando um maior número de indústrias.

O DIF I foi o primeiro a ser construído nos terrenos cedidos por Maracanaú. Trata-se do maior DI do Estado do Ceará, com 1.013 hectares, atualmente contando com, aproximadamente, 90 indústrias em funcionamento. O DIF possui infraestrutura de água bruta e tratada, rede coletora de esgotos com cinco lagoas de estabilização, gás natural, energia, moderno sistema de comunicação e fibra óptica.

Apesar de localizar-se em Maracanaú, esse primeiro distrito foi projetado e construído para atender as necessidades da Capital, Fortaleza, daí sua denominação (Distrito Industrial de Fortaleza I -DIF I). Foi o primeiro DI a ser construído na cidade. Conta com a melhor infraestrutura e maior área entre os cinco distritos, abrigando, até hoje, o maior número de empresas.

Mesmo já consolidado, esse distrito ainda é o mais procurado por empresários que pretendem instalar suas indústrias (CARVALHO, 2009), contando ainda com transporte coletivo rodoviário e metrô em fase de instalação (METROFOR), além de agências bancárias e dos correios.

Os demais distritos contam com um menor número de empresas em funcionamento, ainda não consolidados no mercado, se comparados ao DIF I, devido a problemas de acesso ao transporte e questões jurídicas envolvendo a propriedade dos terrenos. O Terceiro Distrito Industrial de Fortaleza (DIF III), criado em 1998, é o segundo em número de indústrias em funcionamento. Localizado na Rodovia Anel Viário, ocupa uma área de 164 hectares, com sistema de esgoto com tratamento em lagoa de estabilização, sistema de abastecimento de água

e de energia elétrica. Conta atualmente com 25 indústrias em funcionamento. Já o DI 2000, o Distrito Industrial de Alto Alegre II e o Distrito Industrial de Piratininga foram criados a partir de iniciativa municipal, com oferta de incentivos fiscais objetivando a absorção da mão-de-obra residente no município. Juntos, somam apenas 10 empresas em funcionamento nos gêneros têxtil e de confecções, bem como da construção civil (MARACANAÚ, 2012).

Dentre os cinco distritos industriais existentes em Maracanaú, preponderam as indústrias do setor têxtil, seguidas pelas metalúrgicas, químicas e as de produtos alimentícios. Nesse sentido, tem-se o predomínio de indústrias tradicionais, mais leves, e indústrias intermediárias, de maior porte e teor poluente (CAJAZEIRA, 2012).

O município não conta com programas específicos de controle de emissões de gases de suas indústrias, e a fiscalização por parte dos órgãos de fomento ambiental tem se mostrado débil, pois inexistem equipamentos ou mesmo uma estação de monitoramento da qualidade do ar na região. Os últimos registros acerca da qualidade do ar na cidade, realizados pela SEMACE, foram feitos no ano de 2006, quando as estações mantidas pela Superintendência foram desativadas.

Em função disso, atualmente, não é possível a aquisição de dados sobre as condições de poluição atmosférica em Maracanaú. Nessa perspectiva, poucas são as indústrias, no DI de Maracanaú, preocupadas com a destinação de seus resíduos. Somados ainda à falta de rigor na fiscalização por parte das agências ambientais, tais fatores resultam em uma cidade caracterizada por contrastes. De um lado, todo seu vigor de maior polo industrial cearense, destaque entre as maiores economias do Estado. Do outro lado, uma cidade marcada pela precariedade de suas condições socioambientais e poluições das mais diversas formas e fontes.

Segundo estudos do CETREDE (1984), não foi feito qualquer estudo de zoneamento espacial para a instalação das indústrias em Maracanaú. O projeto inicial indicava que as indústrias a serem instaladas do D.I de Maracanaú seriam as leves e médias, de acordo com as potencialidades do mercado local, e obedecendo as áreas do terreno destinadas à zona industrial e residencial, o que não ocorreu. A necessidade de atrair um maior número de empresas fez com que o novo distrito recebesse indústrias pesadas e altamente poluentes, alocadas juntamente com aquelas de menor porte e capacidade poluidora.

Com isso, a área prevista para a zona residencial também foi reduzida e desvinculada da realidade do distrito, como previam os estudos de implantação do empreendimento. Em Maracanaú, as instalações industriais provocaram a retirada da cobertura vegetal nativa, expansão urbana desordenada, aumento considerável na circulação de veículos

e pessoas, o ar urbano tornou-se poluído, características que representam o desequilíbrio ecológico que assola seu meio urbano.

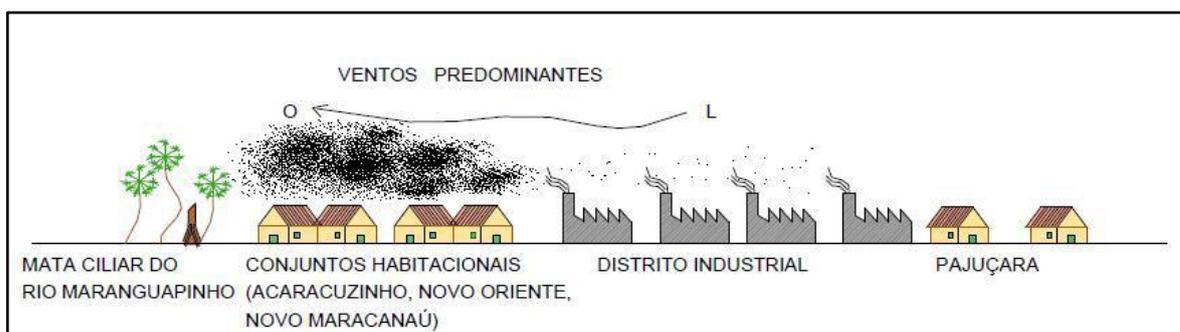
A cidade, como um todo, cresceu sem um planejamento adequado, porém os conjuntos habitacionais, construídos no entorno do Distrito Industrial I, representam os espaços mais afetados pelo desenho industrial assumido pelo município. A carência de medidas planejadoras pode ser facilmente observada quanto à disposição do Distrito Industrial em relação à direção predominante dos ventos.

Os conjuntos habitacionais foram construídos a oeste do distrito industrial, para onde normalmente se dirigem as correntes de ventos que atuam sobre a Região Metropolitana de Fortaleza (leste para oeste). Desse modo os ventos possibilitam a dispersão de vários tipos de poluentes e odores pelas residências dos conjuntos, comprometendo a qualidade da saúde dos indivíduos que ali residem (FIGURA 16). Trabalhos anteriores já apontavam tal anormalidade como Almeida (2005) e, mais recentemente, Cajazeira (2012):

[...] os problemas ligados à poluição atmosférica em Maracanaú se deram a partir da construção dos conjuntos habitacionais (final da década de 1970). Almeida e Rossen (1993) e Almeida (2000) detectaram que diversos conjuntos foram construídos a oeste do DIF I, justamente para onde normalmente se dirigem os ventos na região (na RMF, a direção dos ventos é primordialmente de leste para oeste), promovendo a expansão de odores, gases e poeiras (ALMEIDA, 2005, p. 120).

[...] O problema da poluição é alarmante, principalmente nos conjuntos Acaracuzinho e Novo Oriente, localizados a favor dos ventos, recebendo toda a poluição das fábricas de Rações e Adubos e de Laminados, vindo assim afetar a saúde dos moradores... Os problemas de saúde são bastante graves, tais como: irritação ocular, gripe, cansaço, problemas de pele, etc. (CETREDE, 1984, p. 54).

Figura 16 - Esquema de representação da direção predominante dos ventos e da poluição em Maracanaú



Fonte: Almeida, 2005.

Sousa (2007) destaca que a qualidade do ar nas cidades não depende somente da quantidade de poluentes existentes, mas também pela forma de como a atmosfera age, tendo seu papel fundamental para a dispersão ou, até mesmo, concentração desses. De acordo com Cajazeira (2012), a poluição ambiental é um dos problemas mais frequentes, tanto no tempo quanto espacialmente, refletindo, diretamente, no declínio da qualidade ambiental e, por consequência, na saúde e na qualidade de vida da população local e adjacente. Alguns efeitos da exposição a poluentes atmosféricos são potencializados pelas condições climáticas.

Nessa perspectiva, a presente pesquisa torna-se imprescindível, pois as consequências da poluição urbano-industrial já assolam os habitantes do Distrito Industrial de Maracanaú, especialmente no que se refere ao risco de câncer, evidenciado por esta pesquisa, além dos problemas respiratórios como asma, bronquite, além de infecções oculares entre outros, já discutidos por Almeida (2005) e Cajazeira (2012).

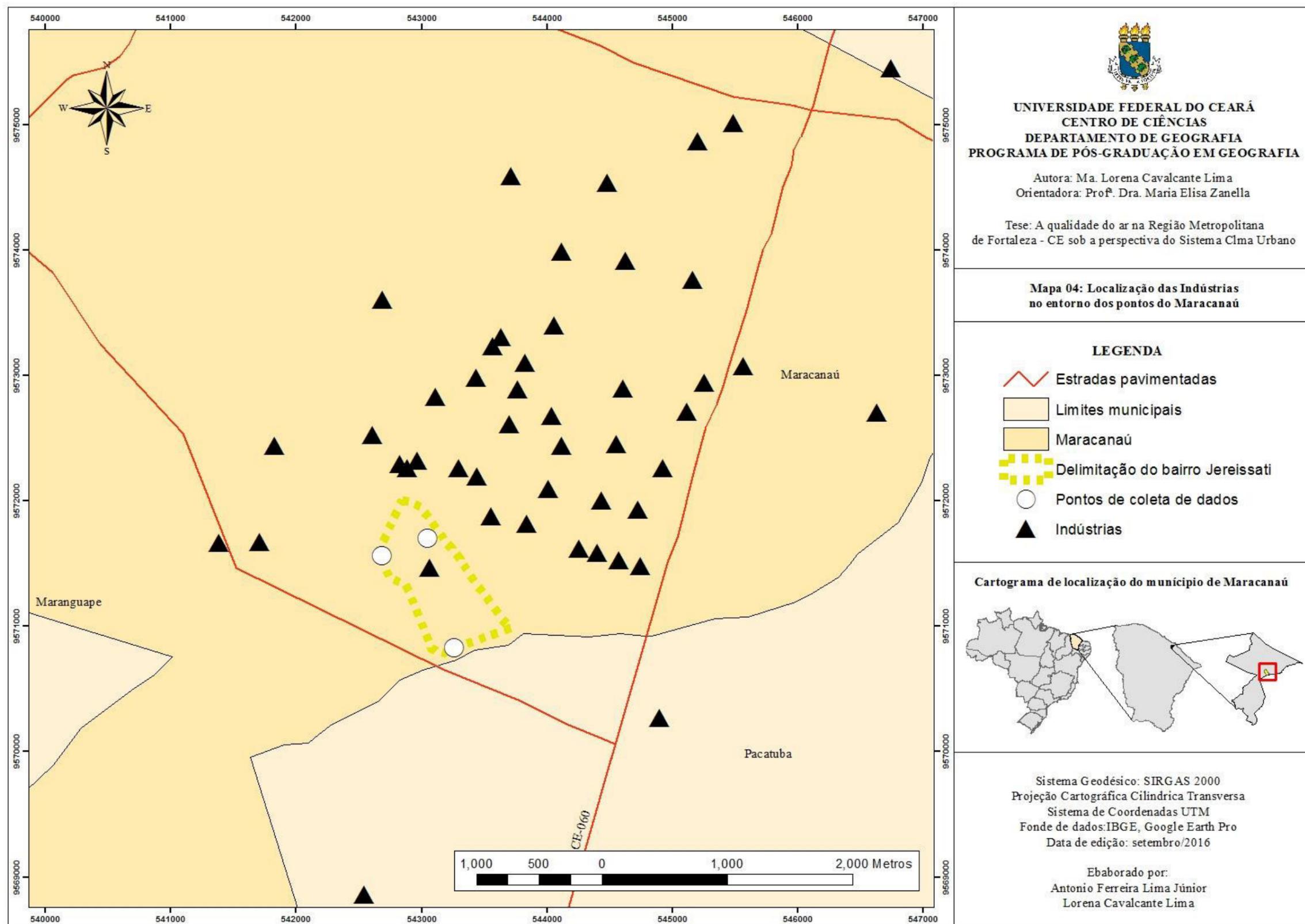
No entorno dos pontos de coleta existem 47 indústrias de médio e grande porte (MAPA 4). Destaca-se, especialmente, a Companhia Metalic Nordeste (FIGURA 17), localizada bem próximo ao P1 e ao P2. A Companhia Metalic Nordeste é uma empresa de latas de metal. Empresa de capital privado, que foi fundada no ano de 2002. Além dessa indústria de grande porte, há uma pequena padaria ao lado do P1. Tal proximidade pode ser a justificativa da grande concentração de poluentes detectada em tais áreas.

Figura 17 – Companhia Metalic Nordeste



Fonte – Google Earth, adaptado por Freitas, 2016.

Mapa 04 – Localização das indústrias no entorno dos pontos de Maracanaú



Fonte: Elaborado por Júnior e pela autora.

CAPÍTULO 4

4 – ANÁLISE DOS DADOS REFERENTES AO PERÍODO CHUVOSO

4.1 – Análise climática do mês de abril de 2015

Antes de iniciar a análise climática das áreas de coleta, é importante destacar que devido à carência de estações meteorológicas móveis, os dados utilizados para esse fim são da estação meteorológica do Pici, localizada no bairro de mesmo nome, no município de Fortaleza. Ressalta-se que a solução proposta fundamenta-se em valores aproximados, podendo não representar fidedignamente a realidade local, no entanto, as estimativas baseiam-se na proximidade entre os pontos de coleta de Fortaleza e Maracanaú (os dois municípios fazem limite) e na relativa homogeneidade desse parâmetro, no que diz respeito à sua espacialização pela RMF.

Quanto às temperaturas registradas nas áreas de coletas, verificou-se no dia 17/04, quando se realizavam as coletas no bairro Meireles, (FIGURA 18), a temperatura variando de 25 °C às 9h a 25,8 °C às 15h, revelando uma amplitude térmica de 0,8 °C, entre esses horários. Às 21h a temperatura registrada foi de 25, 2 °C. Já no dia 19/04, a temperatura variou de 25 °C a 25,2 °C, apresentando uma amplitude térmica de apenas 0,2 °C. Às 21h foi observada também a temperatura de 24, 8 °C.

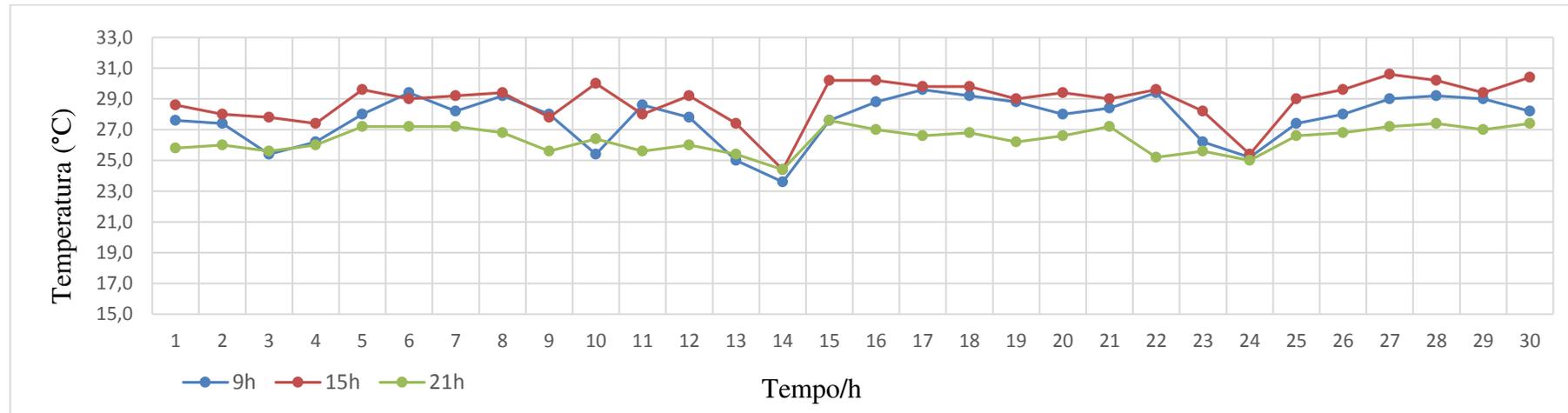
No dia 24/04, quando foram coletados os dados no bairro Messejana, as temperaturas registradas às 9h e às 15h foram, respectivamente, 23,4 °C e 23,6 °C, (FIGURA 18). Às 21h foi registrada uma temperatura de 24, 4 °C. Já no dia 26/04, verificaram-se as temperaturas de 25 °C, 25, 2 °C e 24,6 °C, respectivamente às 9h, 15h e 21h.

No que se refere às temperaturas observadas em Maracanaú no dia 30/04, verificou-se 25, 2 °C às 9h, estando um pouco mais elevada que às 15h, que foi de 25,2 °C (FIGURA 18). No dia 03/05 observou-se uma amplitude térmica de 0,4 °C, entre as 9h e 15h. E às 21h foi verificada uma temperatura de 24,4 °C.

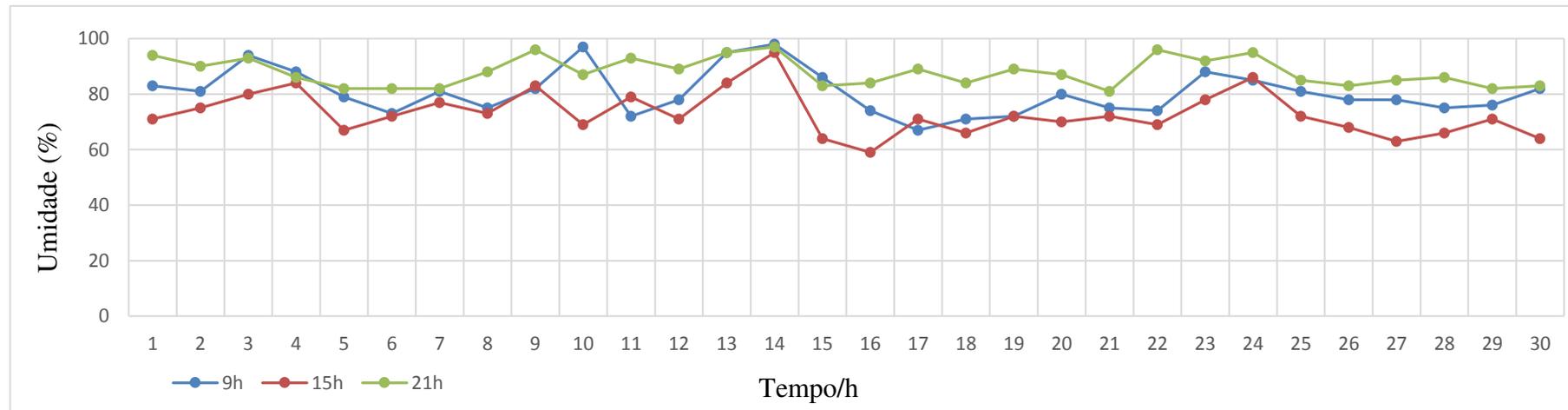
Quanto à umidade relativa do ar, fica claro que essa grandeza é inversamente proporcional à temperatura, bem como destaca Ayoade (1996):

A umidade relativa é, todavia, grandemente influenciada pela temperatura do ar. (...) A umidade relativa do ar varia inversamente com a temperatura, sendo mais baixa no começo da tarde e mais elevada à noite. (...) A umidade relativa atinge seu valor mínimo à tarde durante a estação seca, nos interiores continentais dos trópicos (AYOADE, 1996, p. 144).

Figura 18 - (A) Temperatura do ar e (B) umidade relativa do mês de abril de 2015



(A)



(B)

Fonte: Estação Meteorológica do Pici. Organizado por Freitas (2016).

Foi durante o horário das 21h, em todas as áreas de coleta, que se verificaram as mais elevadas taxas de umidade relativa, enquanto que foram verificadas as mais baixas temperaturas, confirmando o que Ayoade (1996) destacou. No dia 17/04, registrou-se 67%, 71% e 89% de umidade, respectivamente nos horários de 9h, 15h e 21h. No dia 19/04, verificou-se, nessa mesma ordem crescente de horários, 72%, 72% e 89%. Quanto à umidade relativa verificada no dia 24/04, registrou-se 85%, 86% e 95% e no dia 26/04, 78%, 68% e 83%, respectivamente às 9h, 15h e 21h. Já no dia 30/04, verificou-se 82%, 64% e 83%, e no dia 03/05, 71%, 66% e 87%.

No tocante ao regime pluviométrico de Fortaleza e Maracanaú, este é marcado por chuvas nos períodos de verão/outono, concentradas no primeiro semestre do ano, sobretudo, durante a chamada quadra chuvosa cearense (fevereiro, março, abril e maio). Comumente, os picos mais elevados de chuva são verificados no mês de abril. Os sistemas atmosféricos que causam essas chuvas serão detalhados no próximo subcapítulo.

Durante as coletas do bairro Meireles, precipitou no dia 17/04: 3,5 mm às 9h e 0,8 mm às 15h. Às 21h não houve precipitação. No dia 19/04 só precipitou 5 mm às 9h. Já durante as coletas de Messejana, precipitou no dia 24/04: 25 mm às 9h, 17 mm às 15h e 3 mm às 21h. Esse dia configurou-se como o mais chuvoso desse período de coletas. Em Maracanaú, no dia 30/04 precipitou apenas 1 mm às 9h. E no dia 03/05 não precipitou (FIGURA 19).

A nebulosidade se manteve bem elevada durante todo o mês de abril (FIGURA 19). Em relação às coletas do bairro Meireles, o céu esteve mais nublado durante o dia 19, se comparado ao dia 17. Já o dia 24 se apresentou mais nublado que o dia 26, quando foram realizadas as coletas no bairro Messejana. Já em Maracanaú o céu esteve um pouco mais nublado no dia 30, se comparado ao dia 03/05.

Quanto à velocidade dos ventos, é possível observar que a velocidade média do mês não ultrapassou 3,9 m/s, gráfico 17. Quanto à individualização dos dias de coleta, registrou-se no dia 17/04, nos horários de 9h, 15h e 21h, respectivamente: 2 m/s; 2,5 m/s e 3 m/s. Na mesma ordem de horários observou-se, para o dia 19/04: 2 m/s, 2 m/s e 3 m/s. No dia 24/04: 2 m/s, 3 m/s e 2 m/s. No dia 26/04: 3 m/s, 5 m/s, 0 m/s. Por fim, no dia 03/05: 3 m/s, 2 m/s e 3 m/s.

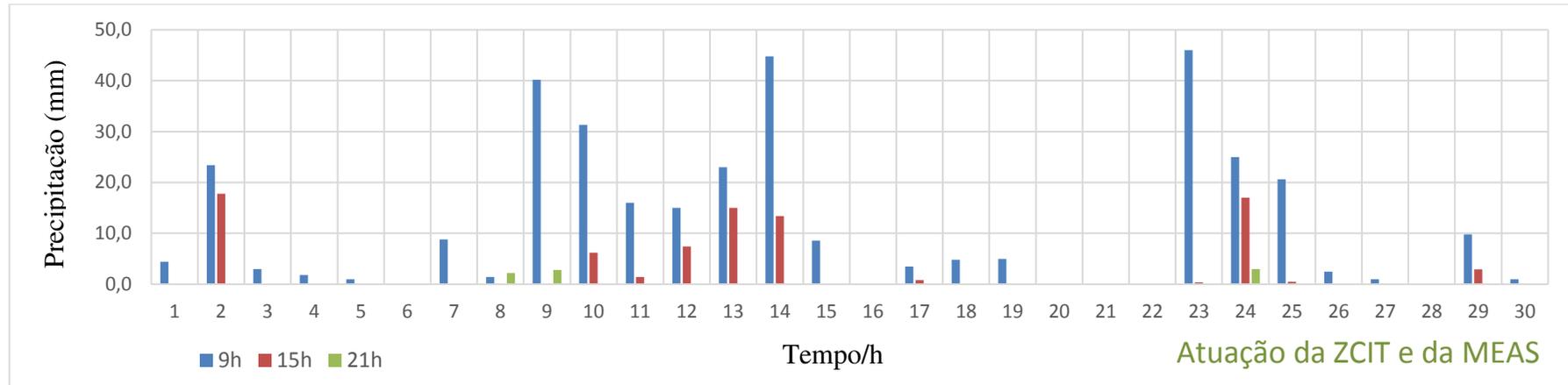
No tocante à direção dos ventos, observou-se uma grande variação de sua orientação ao longo do mês de abril, no entanto a direção predominante foi E (FIGURA 20). Nos dias 17/04 e 19/04, durante as coletas no bairro Meireles, a única direção verificada foi E. No dia 24/04, tanto às 9h quanto às 15h, a direção foi E, já às 21h predominou a direção NE; no dia 26/04, somente ventos vindos de E. Em relação ao dia 30/04, durante as coletas de Maracanaú, registrou-se às 9h, direção C e nas demais, SE; no dia 03/05, a orientação às 9h foi

SE, nos demais horários predominou ventos vindo de E.

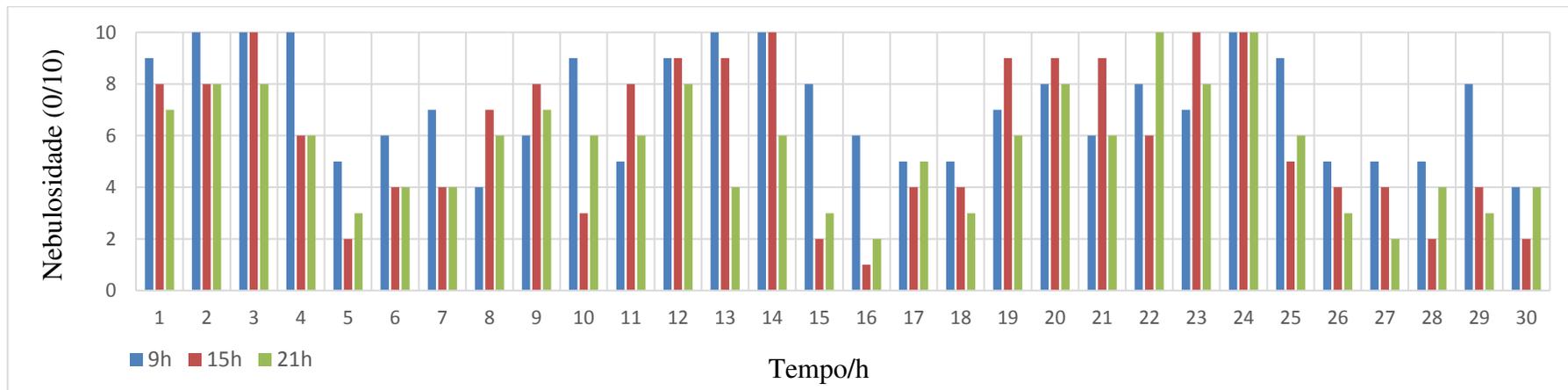
É importante ressaltar, sobretudo em relação ao vento, que é um dos principais elementos do clima responsáveis pela dispersão dos poluentes do ar, que eles têm sua velocidade e direção extremamente modificadas a nível local, em virtude da obstrução ou não de sua passagem pelas construções humanas. E os dados acima são provenientes da estação do Pici. Também é imprescindível destacar que os pontos de coleta do bairro Meireles sofrem influência direta das brisas marítimas, o que repercutiu na dispersão dos poluentes, tornando essa área de estudo como a de menor concentração de CCs e MP, o que será discutido posteriormente.

Por fim, como se observa na figura 19, a insolação no mês de abril não ultrapassou 12h. Nos dias 17/04 e 19/04, respectivamente, 8,1h e 1,2h. Nos dias 24/04 e 26/04, respectivamente, 0h e 8,9h. Nos dias 30/04 e 03/05, respectivamente, 9,2h e 9,3h. O dia 24 de abril foi o mais chuvoso e nublado e, portanto, aquele que apresentou a menor insolação. No que se refere à pressão, esta não ultrapassou, em todo o mês de abril, 1014,0 hPa (FIGURA 21).

Figura 19 - (A) Precipitação e (B) nebulosidade do mês de abril de 2015



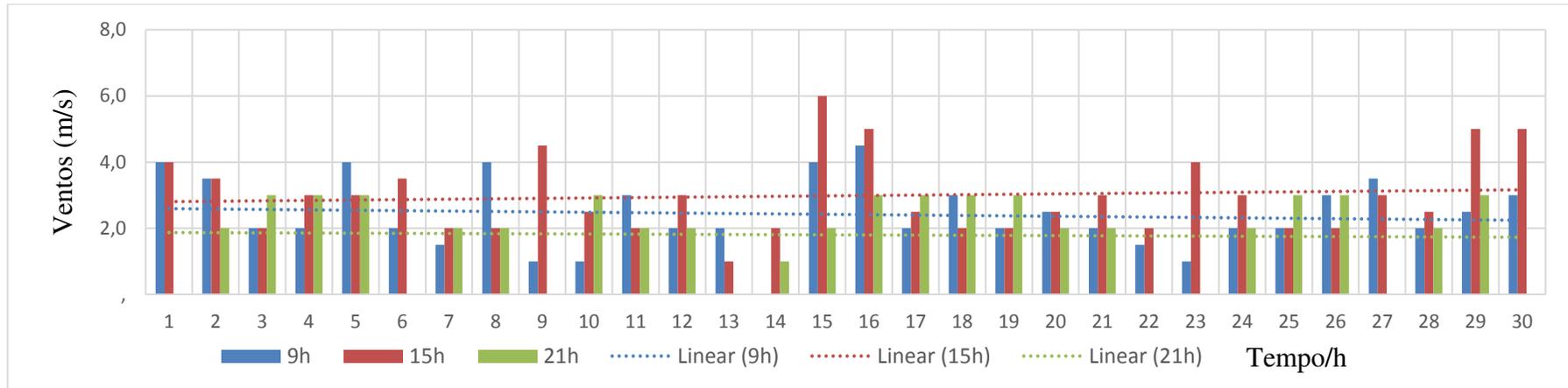
(A)



(B)

Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Organizado por Freitas (2016).

Figura 20 - (A) Velocidade e (B) direção dos ventos do mês de abril de 2015



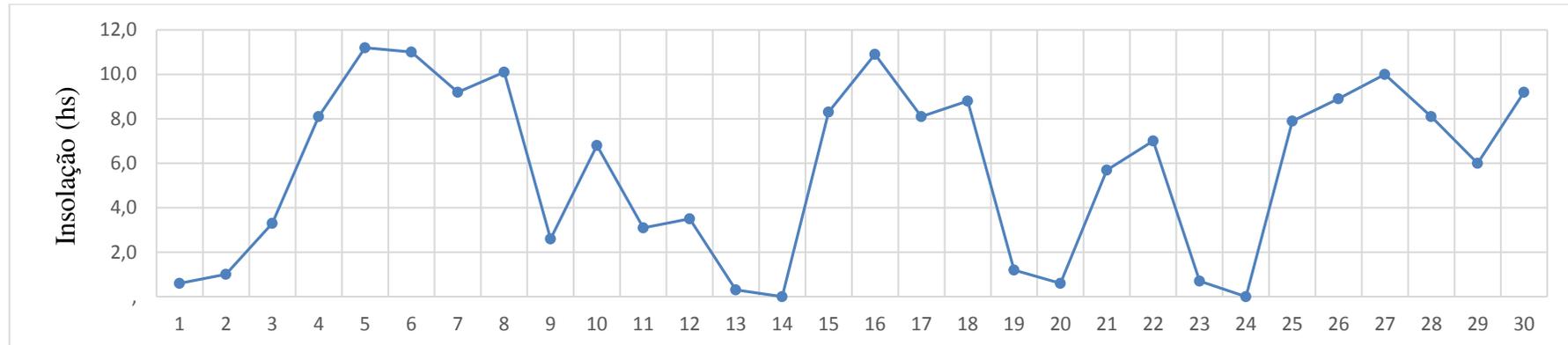
(A)

Direção dos Ventos																														
21h	C	E	E	SE	E	C	N	N	C	E	E	E	C	E	E	E	E	E	E	E	C	C	E	E	E	C	E	E	C	
15h	E	E	E	E	E	NE	N	N	E	E	S	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	SE
9h	SE	SE	NE	S	SE	NE	E	N	E	E	E	SE	NE	C	E	E	E	E	E	E	E	E	SE	NE	E	E	SE	SE	SE	SE
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

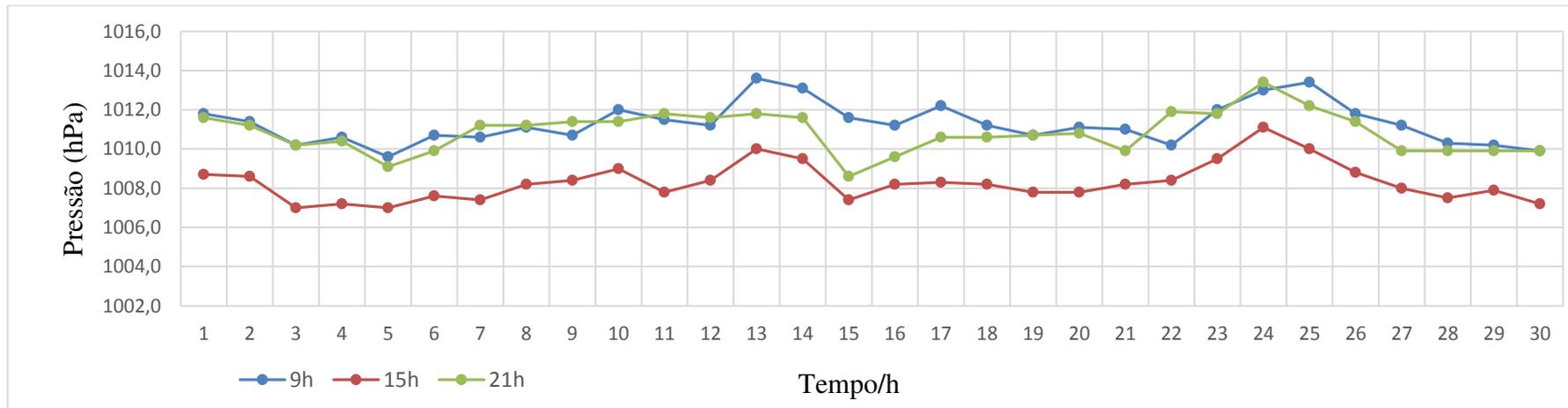
(B)

Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Organizado por Freitas (2016).

Figura 21 - (A) Insolação e (B) pressão do mês de abril de 2015



(A)



(B)

Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Organizado por Freitas (2016).

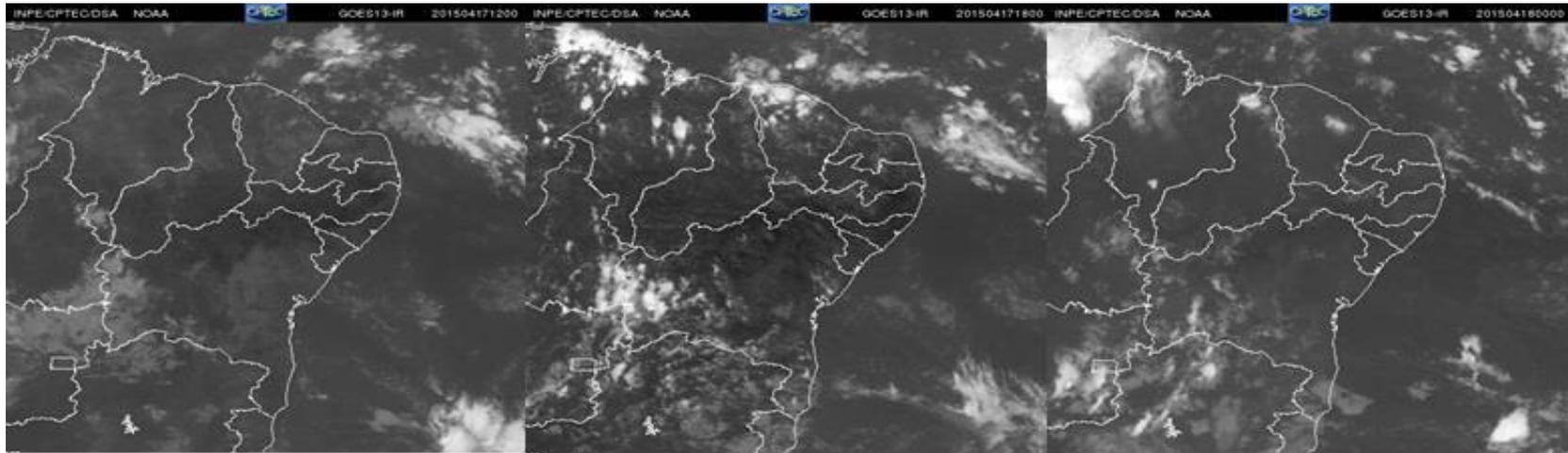
4.1.1 – Sistemas atmosféricos

Através da figura 22, é possível verificar que houve uma manifestação mais intensa da ZCIT no dia 19 de abril (domingo), do que no dia 17 de abril. Durante a semana, esse sistema teve fraca atuação e não provocou chuva, deixando o céu apenas parcialmente nublado. A manifestação da ZCIT, durante o domingo, ocasionou alguns momentos de neblina durante esse dia, contribuindo para uma maior remoção dos poluentes, como será discutido nos próximos subcapítulos.

Em Messejana, por sua vez, a ZCIT atuou intensamente no dia 24/04 (semana) trazendo muita umidade, nebulosidade e precipitação durante todo o dia. Foi registrada uma precipitação de 30,8 mm (FUNCEME), contribuindo para a remoção do MPR da atmosfera. A nebulosidade no domingo foi bem menor do que a verificada na semana, em virtude da fraca intensidade da ZCIT (FIGURA 23). Sabe-se, portanto, que a chuva é responsável por lavar a atmosfera, retirando as partículas em suspensão por um certo período de tempo.

Já em Maracanaú, a ZCIT atuou, praticamente, com a mesma intensidade na semana e no domingo. Ficou mais intensa a partir das 21h, nas duas coletas (FIGURA 24). Não foi registrada precipitação nesses dias de coleta, o que possivelmente tenha contribuído para que essa área se configurasse como a de maior concentração de poluentes.

Figura 22 - compilação da dinâmica atmosférica das 9h, 15h e 21h. (A) dia 17 e (B) dia 19 de abril de 2015



(A)



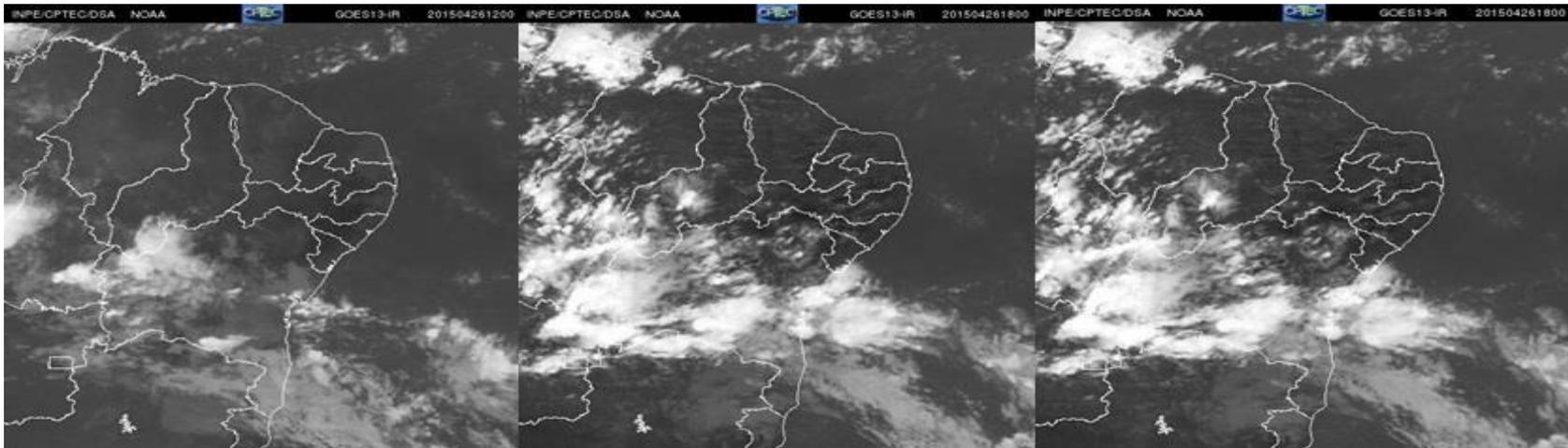
(B)

Fonte: adaptação do CPTEC/INPE – satélite GOES 13 (canal 4 - infravermelho).

Figura 23 - compilação da dinâmica atmosférica das 9h, 15h e 21h. (A) dia 24 e (B) dia 26 de abril de 2015



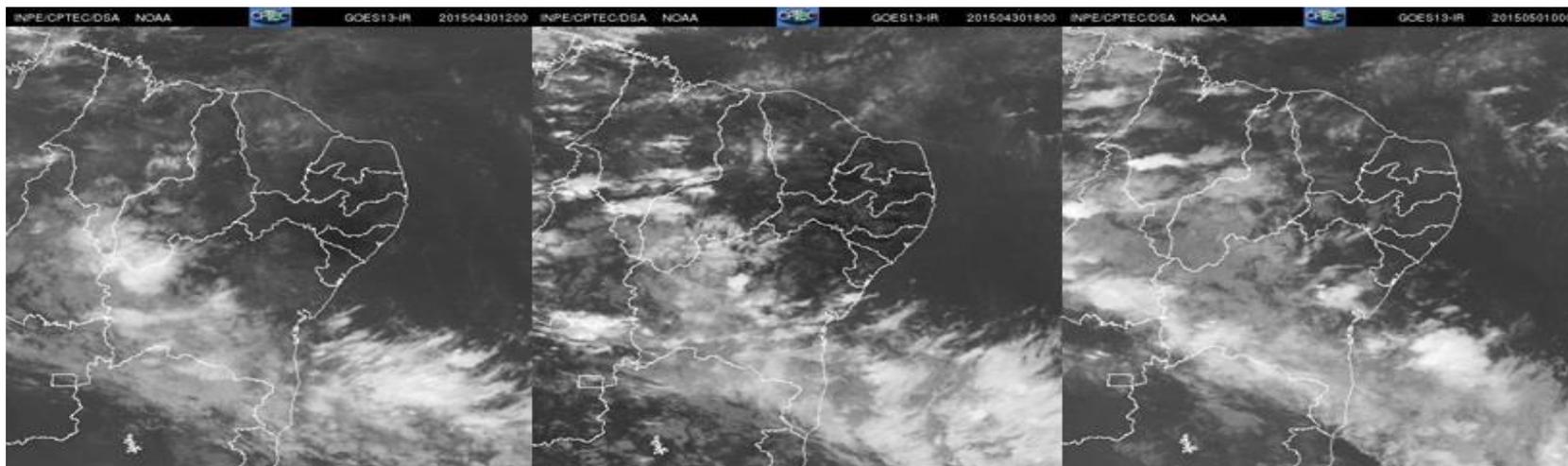
(A)



(B)

Fonte: adaptação do CPTEC/INPE – satélite GOES 13 (canal 4 - infravermelho).

Figura 24 - compilação da dinâmica atmosférica das 9h, 15h e 21h. (A) dia 30 de abril e (B) dia 01 de maio de 2015



(A)



(B)

Fonte: adaptação do CPTEC/INPE – satélite GOES 13 (canal 4 - infravermelho).

4.2 - Fluxo de veículos

Entre as fontes emissoras de poluentes¹⁶ no meio urbano, as que mais se destacam em Fortaleza são: transportes – (61%), resíduos – (25%), energia – (8%) e as indústrias – (2%) (SEUMA, 2015). A frota de veículos, nessa capital, já ultrapassa um milhão (DENATRAN, 2015), e muitos são os problemas decorrentes dessa quantidade de automóveis circulando nas vias.

Em virtude da expressiva frota de veículos da RMF, sobretudo de Fortaleza, o fluxo dos mesmos foi devidamente contabilizado, em cada área de coleta (triplicata). Apesar das indústrias serem a principal fonte poluidora em Maracanaú, a contagem de veículos também foi realizada nessa área.

Em relação ao fluxo de veículos no bairro Meireles, evidenciou-se um maior tráfego de automóveis no P1 (TABELA 09). O grande fluxo desse ponto deve-se ao fato de sua localização ser às margens da avenida da Abolição, uma das principais vias de acesso que corta o bairro Meireles, no qual estão localizados pontos turísticos da cidade de Fortaleza, além da instalação de diversos hotéis, e equipamentos urbanos como farmácias, restaurantes, lojas, entre outros. Em horários de pico no trânsito, forma-se um congestionamento no entorno desse ponto.

De acordo com um estudo realizado na França, por Murgel e Szwarc (1989), ao elevar a velocidade média do tráfego de 15,3 Km/h para 21,3Km/h, há uma melhora de 20% no consumo dos combustíveis e numa redução de Hidrocarbonetos (HC) em 20%, de CO em 15% e de NOx em 25%. Ou seja, a crescente motorização individual que caracteriza o estilo de vida urbano, somada aos problemas decorrentes da redução de velocidade dos deslocamentos e consequente aumento no tempo de percurso¹⁷, dos motores dos veículos e o próprio condutor, geram um aumento nas emissões de poluentes em áreas urbanas.

O P2 dessa área se apresentou como o de menor fluxo, também devido a sua localização e pelo fato de tal via ter sentido único. Em relação ao fluxo de veículos no P3, observou-se o segundo maior tráfego de automóveis registrado durante o experimento, no bairro Meireles (TABELAS 11 E 12).

¹⁶ Substâncias químicas em concentrações suficientes para causar danos aos seres humanos, animais, plantas e materiais.

¹⁷ Resultado da inadequação dos sistemas viários em relação à excessiva demanda de veículos.

Tabela 09 - Fluxo de veículos no P1 do bairro Meireles -PC

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	78	9	40	9
12h	74	11	45	8
19h	70	8	56	5

Fonte: A autora.

Tabela 10 - Fluxo de veículos no P2 do bairro Meireles - PC

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	3	0	6	1
12h	6	0	5	1
19h	8	1	5	0

Fonte: A autora.

Tabela 11 - Fluxo de veículos no P3 do bairro Meireles -PC

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	9	2	7	1
12h	17	1	10	1
19h	8	1	15	0

Fonte: A autora.

Segundo Danni-Oliveira (2003), as emissões provenientes da exaustão do escapamento dos veículos são responsáveis pela maior parte dos lançamentos de CO, de NOx e de compostos de chumbo, 65% de HC e partículas de carbono; da emissão do respiro do cárter (20% dos HCs); da evaporação do carburador e do tanque de combustível (15% dos HCs), bem como dos pneus e pastilhas de freio. Isso ocorre devido à combustão incompleta dos veículos do CO e CD.

Já no bairro Messejana, o maior fluxo de veículos tanto do CO quanto do CD foi verificado no P1 (TABELA 12). Tal fato se explica por sua localização, às margens da avenida Frei Cirilo, que é via de acesso para os principais equipamentos urbanos desse bairro, tais como: hospital, comércio, terminal de ônibus, entre outros. Nos pontos 2 e 3, que estão localizados em vias menos movimentadas e expressivas para a dinâmica do bairro, registrou-se um menor fluxo de veículos. Logo, ambos registraram um fluxo pequeno e semelhante, (TABELA 13 E 14).

Tabela 12 - Fluxo de veículos no P1 do bairro Messejana -PC

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	60	12	30	3
12h	59	10	35	2
19h	56	7	44	0

Fonte: A autora.

Tabela 13 - Fluxo de veículos no P2 do bairro Messejana -PC

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	3	1	1	1
12h	2	0	2	0
19h	2	1	3	0

Fonte: A autora.

Tabela 14 - Fluxo de veículos no P3 do bairro Messejana -PC

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	3	0	3	0
12h	2	0	2	0
19h	2	0	0	0

Fonte: A autora.

Por meio desses gráficos, evidencia-se um pequeno fluxo de veículos movidos a diesel (CD). O que possivelmente ratifica a pequena quantidade de MPR nas áreas de estudo. Um dos resultados da diferenciação dos veículos do CO e CD é que os motores a óleo diesel emitem 100 vezes mais material particulado para a atmosfera do que os movidos a gasolina ou a álcool.

No que se refere ao Distrito Industrial de Maracanaú, verificou-se um pequeno fluxo de veículos nos três pontos de coleta, sobretudo nos pontos 1 e 2, tanto em relação aos veículos do CO quanto do CD, (TABELAS 15 E 16). O maior fluxo dessa área foi verificado no P3 (TABELA 17).

Tabela 15 - Fluxo de veículos no P1 do Distrito Industrial de Maracanaú -PS

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	1	0	1	0
12h	2	1	1	1
19h	10	0	1	0

Fonte: A autora.

Tabela 16 - Fluxo de veículos no P2 do Distrito Industrial de Maracanaú -PS

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	2	0	3	0
12h	2	0	2	0
19h	15	0	2	0

Fonte: A autora.

Tabela 17 - Fluxo de veículos no P3 do Distrito Industrial de Maracanaú -PS

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	10	3	12	3
12h	15	0	17	2
19h	29	0	15	1

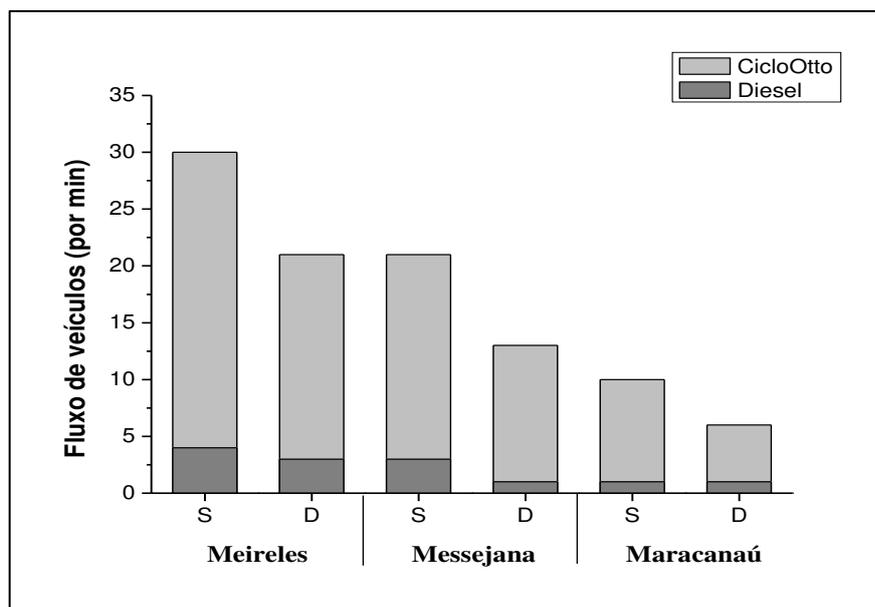
Fonte: A autora.

Com base nos dados apresentados, verificou-se que o fluxo de veículos variou entre os pontos de cada área (triplicata) e também entre as áreas. Aquele que apresentou o maior fluxo foi o Meireles, tanto na semana quanto no domingo. Já os pontos localizados no Maracanaú foram os de menor intensidade. Constatou-se também que o fluxo variou bastante ao longo do dia.

Apesar do pequeno fluxo de veículos que circularam entre os pontos do distrito industrial de Maracanaú, as maiores concentrações de poluentes foram detectadas nessa área, sobretudo de MPR, possivelmente em virtude da concentração de indústrias que também são importantes emissoras de poluentes na atmosfera.

Em relação ao fluxo de veículos do CO e do CD, observou-se que há predominância do primeiro em relação ao segundo (GRÁFICO 14). Algumas das consequências oriundas desse grande fluxo de veículos são as expressivas concentrações CCs, principalmente os aldeídos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e ozônio troposférico. É importante destacar que os poluentes primários sofrem os efeitos da radiação solar, e transformam-se em poluentes secundários. E os aldeídos são os que mais sofrem tais efeitos.

Gráfico 14 – Somatório do fluxo de veículos por área - PC



Fonte: A autora.

4.3 – Material Particulado Respirável

Em relação às concentrações de MPR nas áreas de estudo, detectou-se no bairro Meireles, durante a semana, $6,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e abaixo do limite de detecção, no domingo. Já no bairro Messejana, não foi notado MPR durante a semana, mas no domingo detectou-se $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No distrito industrial de Maracanaú, foi detectado na semana $21,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e no domingo, $17,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GRÁFICO 15). Portanto, a maior concentração de MPR foi detectada em Maracanaú.

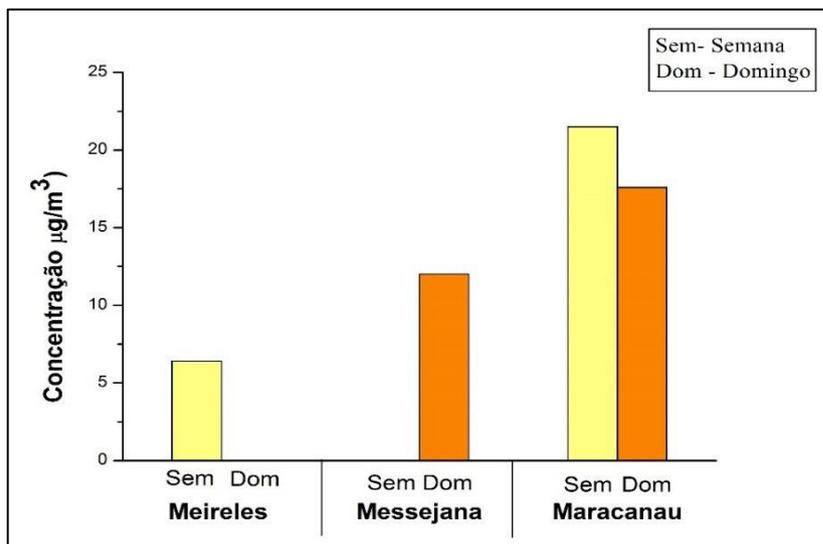
Com base nesses dados, constatou-se que a atuação da ZCIT influenciou nos resultados obtidos, pois esse sistema provocou precipitações de 30,8 mm, no dia 24/04/15, resultando na sedimentação do MPR suspenso e, conseqüentemente, remoção dos poluentes na atmosfera do bairro Messejana.

No bairro Meireles, apesar de não ter precipitado no dia 19 de abril, houve precipitação de 5 mm no dia anterior (18), o que possivelmente pode ter contribuído para que o MPR não re-suspenderesse durante o dia de coleta. É importante destacar que além dos elementos naturais, como o vento, os antrópicos, como a limpeza das ruas, as obras de construção, a pavimentação local, entre outros, são responsáveis pela re-suspensão do MPR. Não houve precipitação durante os dias de coleta em Maracanaú.

A chuva é um dos principais elementos de remoção de MP da atmosfera. No entanto é importante destacar que apesar da retirada dos poluentes da atmosfera, ela os carrega para outras esferas, como por exemplo, para os rios. Para tanto, a forma de dispersão mais eficaz

para o meio ambiente é aquela realizada pela turbulência térmica, na qual gera o movimento vertical do ar, carregando consigo os poluentes para a camada de mistura ou mesmo para atmosfera livre.

Gráfico 15 - Concentração de MPR nas áreas de coleta - PC



Fonte: A autora.

Realizando uma análise individual por área de estudo, observou-se que o P1 do DI de Maracanaú foi o que registrou as maiores concentrações de MPR, $37,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $34,7\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente na semana e no domingo. Seguido pelo P2 $15,4\mu\text{g}/\text{m}^3$, para ambos os dias; e P3 $11,6\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $2,7\mu\text{g}/\text{m}^3$.

O bairro Messejana, por sua vez, possivelmente devido à forte atuação da ZCIT, como já mencionado anteriormente, teve sua atmosfera lavada na semana, proporcionando a remoção total do MPR. No domingo foi registrado no P1 $20,8\mu\text{g}/\text{m}^3$; no P2, $10,2\mu\text{g}/\text{m}^3$ e no P3, $4,9\mu\text{g}/\text{m}^3$.

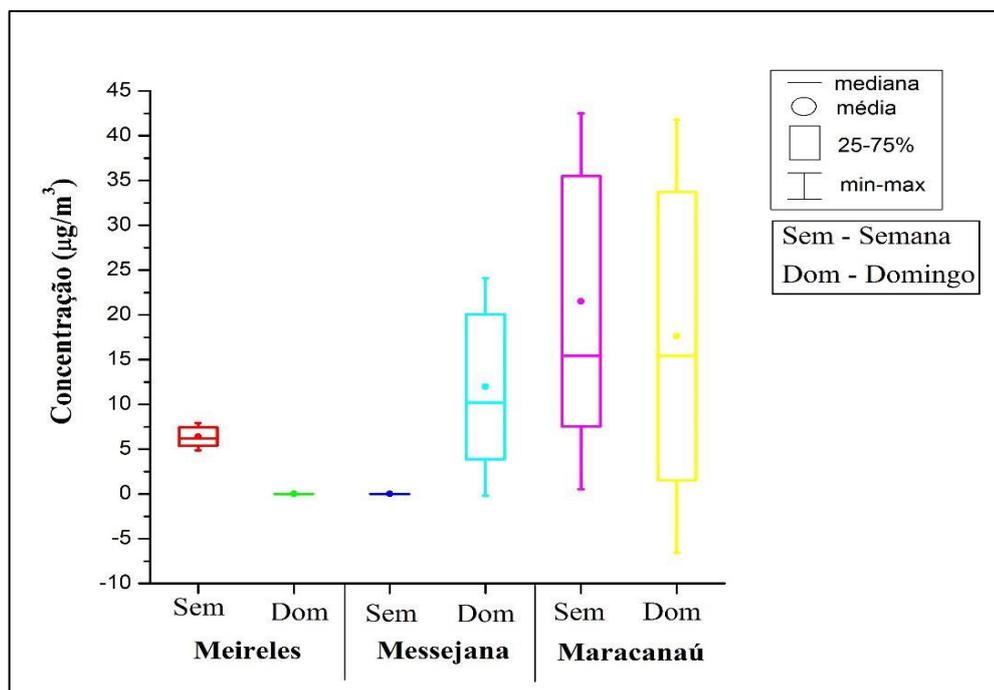
Já no bairro Meireles, talvez devido à ZCIT, o MPR esteve abaixo de detecção, durante a semana. No domingo, detectou-se no P1 $7,5\mu\text{g}/\text{m}^3$; no P2, $5,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ e no P3, $6,2\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ratifica-se que esse bairro exibiu as menores concentrações, entre as áreas de estudo.

Tais dados podem ser visualizados no gráfico 16, que revela as concentrações de MPR: mínimas, máximas, média¹⁸ e mediana¹⁹ de cada área, tanto na semana quanto no domingo.

¹⁸ A média de um conjunto de dados numéricos obtém-se somando os valores de todos os dados e dividindo a soma pelo número de dados.

¹⁹ É o valor intermediário que separa a metade superior da metade inferior do conjunto de dados.

Gráfico 16 – Concentração máxima, mínima, média e mediana de MP -PC



Fonte: A autora.

A industrialização e urbanização pela qual passou o município de Maracanaú é determinante não só na dinâmica social e econômica do município, mas também no meio ambiente, notadamente na qualidade do ar. Com mais de 100 empresas, de diversas áreas de atuação, que abastecem o mercado interno e externo, 41 delas localizam-se na circunvizinhança dos pontos de coleta. A grande concentração de indústrias, associada à direção dos ventos a barlavento dos conjuntos habitacionais do Distrito Industrial de Maracanaú, contribui para a grande detecção de poluentes na área.

Com base nos padrões de qualidade do ar que definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, garantindo a proteção da saúde e do meio ambiente (CONAMA N°3), as concentrações detectadas na área de estudo não ultrapassaram os limites indicados pelas agências internacionais, até mesmo a NIOSH, uma das mais exigentes no tocante à qualidade do ar.

A legislação brasileira não leva em consideração o nível de partículas respiráveis <2,5 µm (PM2,5), sendo dessa forma necessária a adoção de índices de qualidade americanos (US-EPA, 2007).

É importante destacar que a avaliação de ambos os parâmetros foi realizada pela primeira vez na RFM. Embora os níveis de MPR desse período tenham ficado abaixo daqueles máximos permitidos pelas agências internacionais, alguns estudos que aferiram a concentração

de MPR na atmosfera detectaram que os níveis do referido estavam acima do máximo permitido pela OMS. (TABELA 18).

Tabela 18 – Estudos antecedentes a esta pesquisa sobre as concentrações de MPR

Local		Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Referências
Fortaleza, Brasil (Período chuvoso)	Beira Mar	12,56	Rocha, 2014
	Calçada Crasa	83,43	
	Praça das Flores	65,36	
São José dos Campos, Brasil		18,95	Guimarães, 2011
Erfurt, Alemanha		150	Kappos, 2004
Hamilton, Canadá		43	Barakat-Haddad, 2012
Gaza, Palestina		137,7	Elbayoumi, 2014
Ho Chi Minh, Vietnã		134	Giang, 2014

Fonte: adaptado de Rocha, 2014.

4.4 – Compostos Carbonílicos

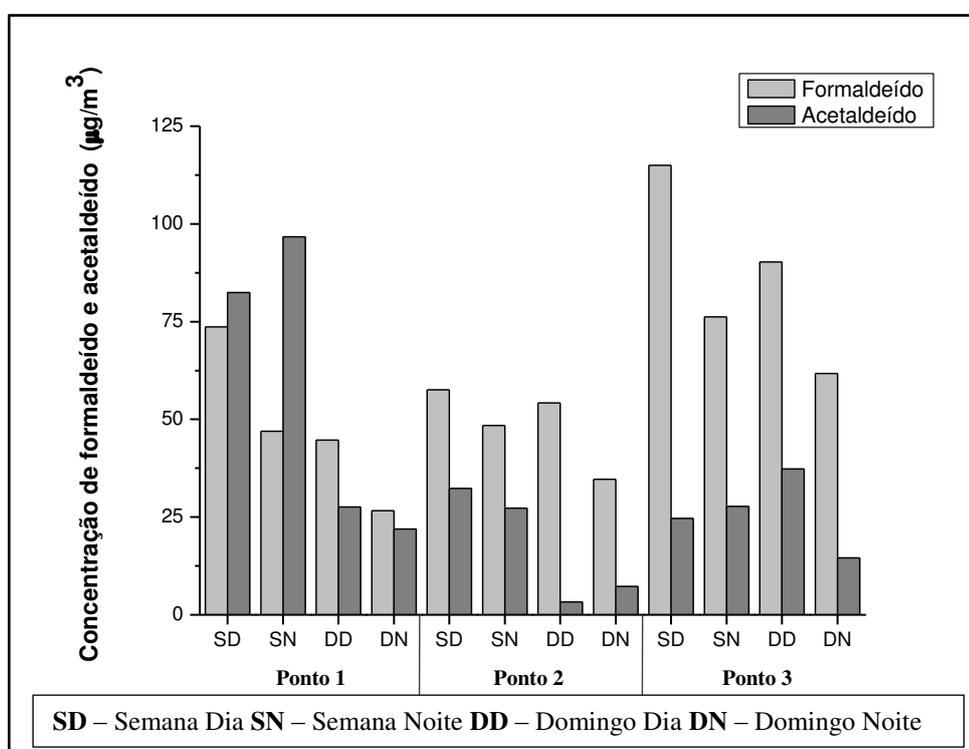
Existe uma forte evidência de que a adição de biocombustível ao diesel ou à gasolina aumenta a emissão de CCs para o ambiente (ROCHA, 2014). Desse modo, torna-se imprescindível a discussão dos mesmos, já que tais CCs estão presentes na combustão dos automóveis e também emissões industriais.

Uma vez justificada a importância do estudo desses compostos, em prol da qualidade do ar das áreas de estudo, parte-se, a partir daqui, para a descrição individual, do comportamento de tais CCs.

No bairro Meireles, verificou-se que as concentrações dos CCs variaram de um ponto para outro, possivelmente, em virtude do fluxo de veículos, velocidade e direção dos ventos. Ressalta-se que dos quatorze CCs, apenas três (formaldeído, acetaldeído e acroleína) foram detectados nos pontos de coleta dessa área. Verificou-se que as maiores concentrações de formaldeído foram detectadas no P3 ($115,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$), já em relação ao acetaldeído, os maiores níveis foram registrados no P1 ($96,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (GRÁFICO 17). Além desses dois aldeídos, destaca-se a detecção de acroleína, pois como já citado anteriormente, embora não exista regulamentação para os níveis máximos de acroleína, sabe-se que esse composto é extremamente tóxico e prejudicial à saúde humana.

Como já citado anteriormente, a acroleína é extremamente tóxica por todas as vias de administração. Seus vapores causam severas irritações respiratórias e oculares. O contato desse composto na forma líquida pode produzir necrose, mesmo as soluções 1% causam sérios danos. Apesar desse composto não ser um agente cancerígeno ou embriotóxico, apresenta-se como forte agente mutagênico. De acordo com Andrade *et al* (2002), a irritação nos olhos, causadas pela acroleína, é até cinco vezes maior do que a provocada pelo formaldeído, dependendo da concentração. A principal via de ataque desse composto são as mucosas do trato respiratório superior. A exposição a altas concentrações pode causar edema pulmonar, ou até mesmo morte.

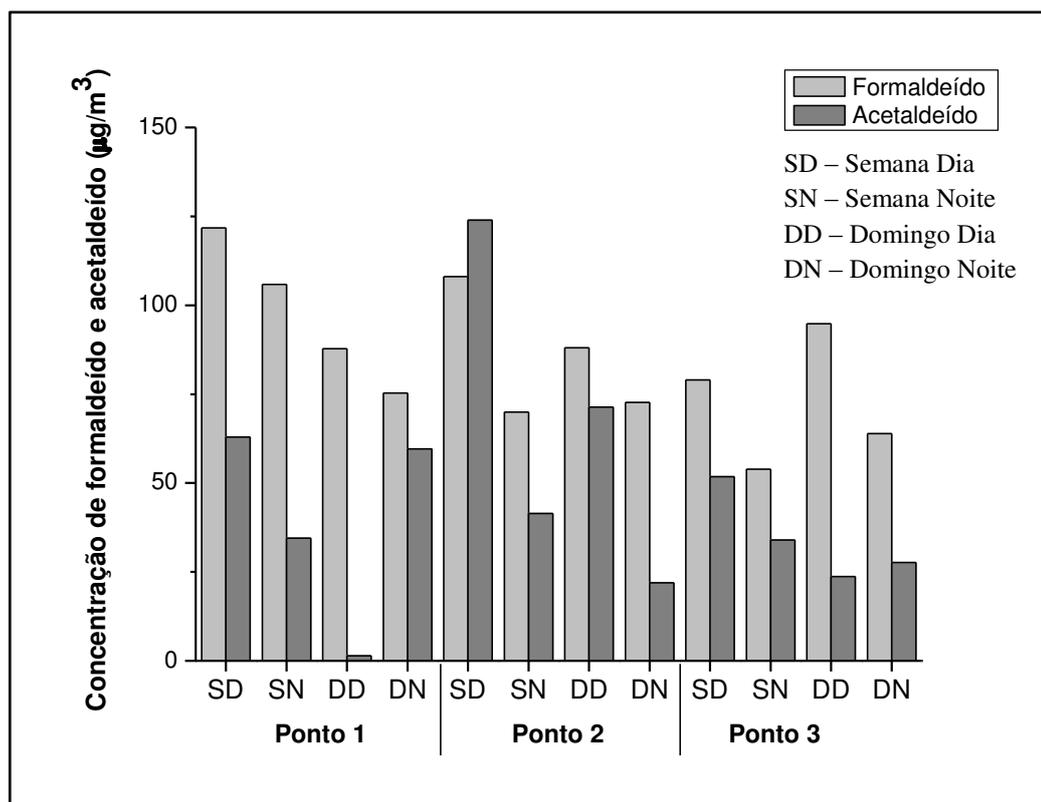
Gráfico 17 - Concentrações de formaldeído e acetaldeído no bairro Meireles -PC



Em relação às concentrações dos CCs no bairro Messejana, observou-se que também houve variações entre os pontos da referida área. As maiores concentrações de formaldeído e acetaldeído, no bairro Messejana, foram detectadas no P1, provavelmente, em virtude do intenso fluxo de veículos que trafegam pelo P1, diferentemente do que ocorre nos outros dois. Ratifica-se, assim, a teoria de que quanto maior for o fluxo de veículos, maior será a quantidade de poluentes emitidos para a atmosfera local. Considera-se que a maior concentração de edifícios nesse ponto também contribua para o aprisionamento dos poluentes.

A menor concentração de acetaldeído, nesse bairro, foi registrada no P1 (1,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), durante o dia no domingo (GRÁFICO 18). As segundas maiores concentrações foram verificadas no P2, que está localizado próximo a av. Washington Soares. A detecção de CCs no P3 foi a menor dessa área, possivelmente em virtude desse ponto ser aquele mais afastado de grandes avenidas e também devido aos ventos, pois essa é uma área sem edifícios.

Gráfico 18 - Concentrações de formaldeído e acetaldeído no bairro Messejana - PC



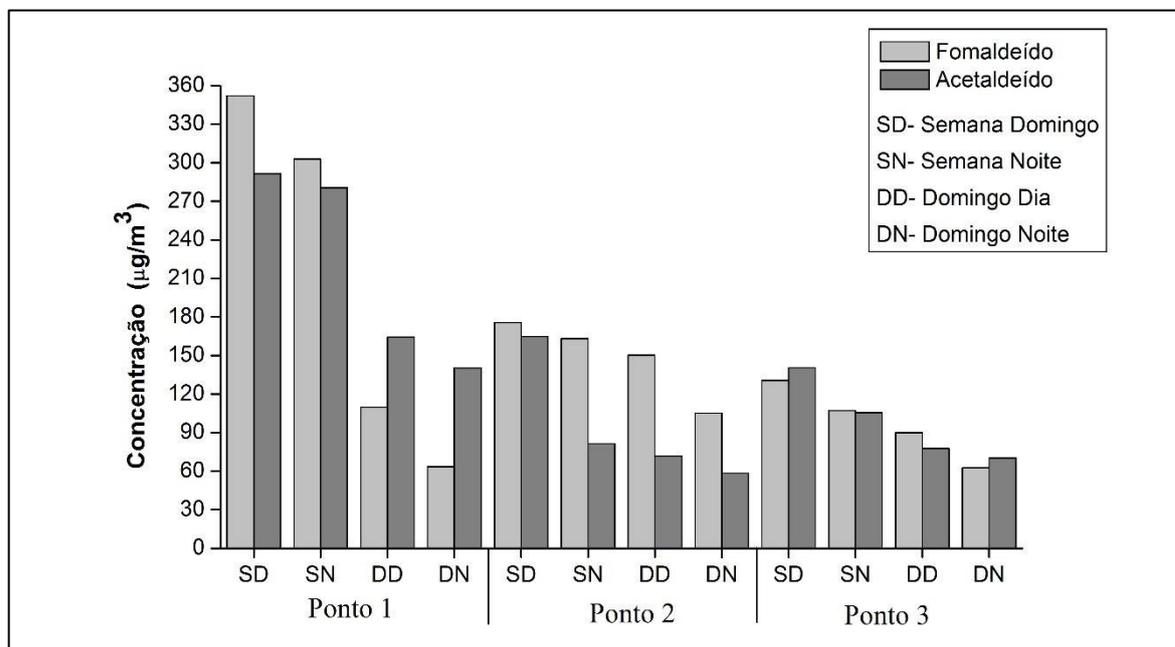
Fonte: A autora.

No distrito industrial de Maracanaú, assim como nas outras áreas já discutidas, houve variação entre as concentrações dos CCs nos pontos de coleta de dados. Foi nessa área onde as maiores concentrações de poluentes, do período chuvoso, foram detectadas. Esse fato é justificado, provavelmente, pela emissão industrial e pelas condições da atmosfera nos dias de coleta, pois houve fraca atuação da ZCIT e, embora a umidade estivesse elevada e o céu encoberto por nuvens, não houve precipitações no Distrito Industrial de Maracanaú, durante os dias de coleta. Isso favoreceria a limpeza da atmosfera e dispersão dos poluentes.

As maiores concentrações de formaldeído e acetaldeído foram detectadas no P1, que embora se situe na mesma rua do P2, ao seu lado localiza-se uma padaria (fonte de emissão), o que, possivelmente, justificaria a grande quantidade não só desses aldeídos, mas também de

MPR. Já o P3, embora situado no distrito industrial, é o mais afastado das indústrias e, por isso, está em último lugar em relação aos níveis dos CCs (GRÁFICO 19).

Gráfico 19 - Concentrações de formaldeído e acetaldeído em Maracanaú - PC



Fonte: A autora.

As concentrações de CCs nas áreas de coleta variaram de 3,32 µg/m³ no P1 do Meireles a 291,61 µg/m³, no P1 do DI de Maracanaú, com relação ao acetaldeído. O formaldeído, por sua vez, variou de 21,96 µg/m³, no P2 do bairro Messejana, a 352,16 µg/m³, no P1 de Maracanaú. Os maiores níveis foram detectados em Maracanaú, provavelmente, devido ao adensamento industrial. Já em Fortaleza, as maiores concentrações foram detectadas no bairro Messejana. Apenas durante a noite, da semana, verificou-se concentrações maiores no bairro Meireles (138,08 µg/m³) se comparadas às concentrações detectadas em Messejana.

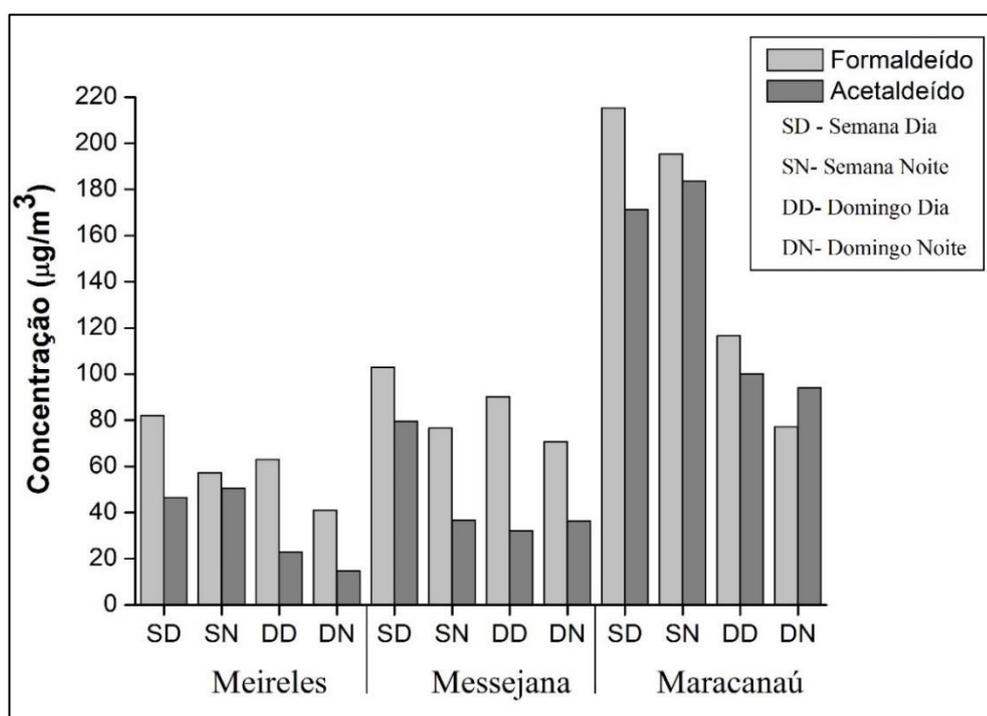
É importante destacar o efeito das brisas no bairro Meireles, que atuaram efetivamente na dispersão dos poluentes, caracterizando essa área como a menos poluída, em relação aos contaminantes em análise. Já a cobertura de vegetação em Messejana contribuiu para a melhoria da qualidade do ar nessa área se comparada ao Distrito Industrial de Maracanaú, devido à redução da insolação direta e ampliação das taxas de evapotranspiração, proporcionando efeitos mitigadores no que se refere à transformação fotoquímica dos poluentes primários em secundários.

Verificou-se, também, que em todas as áreas de coleta, as concentrações detectadas durante o dia foram mais elevadas do que à noite. Tal fato justifica-se pela transformação

fotoquímica sofrida pelos compostos carbonílicos durante o dia, devido à transformação dos poluentes primários em secundários, como já citado anteriormente.

O formaldeído e o acetaldeído foram detectados em todos os pontos de coleta (GRÁFICO 20). A acroleína, por sua vez, foi detectada apenas no bairro Meireles, isso se deve, possivelmente, ao fato da maior frota de veículo do Ciclo Otto circular por esse bairro. Esse composto tem sua formação oriunda da combustão dos biocombustíveis, e também merece atenção especial. Afinal, por mais que não seja carcinogênica, traz sérios prejuízos ao homem.

Gráfico 20 - Concentração de formaldeído e acetaldeído nas áreas de coleta



Fonte: A autora.

Para indicar as possíveis fontes de CCs em áreas urbanas é utilizada, frequentemente, a razão formaldeído/acetaldeído. Para a razão 1 e 2, as fontes de emissão indicadas são as antropogênicas, como emissões veiculares e queima de combustíveis. A razão maior que 2 indica outras fontes, como formação de CCs via reações fotoquímicas, principalmente (SOUSA, 2011).

Verifica-se, a partir da leitura da Tabela 19, que no bairro Meireles, durante a semana, os CCs detectados são provenientes de fontes antropogênicas. Já no domingo, originam-se de outras fonte. No bairro Messejana, houve uma alternância de fontes, segundo o cálculo realizado. No Distrito Industrial de Maracanaú evidenciou-se a predominância de CCs oriundos de fontes antrópicas.

Tabela 19 – Razão entre acetaldeído/formaldeído - PC

	SD	SN	DD	DN
Meireles	1.76	1,13	2.77	2.80
Messejana	1.29	2.09	2.80	1.94
Maracanaú	1.38	2.90	1.27	1.10

Fonte: A autora.

4.4.1 – Risco à saúde

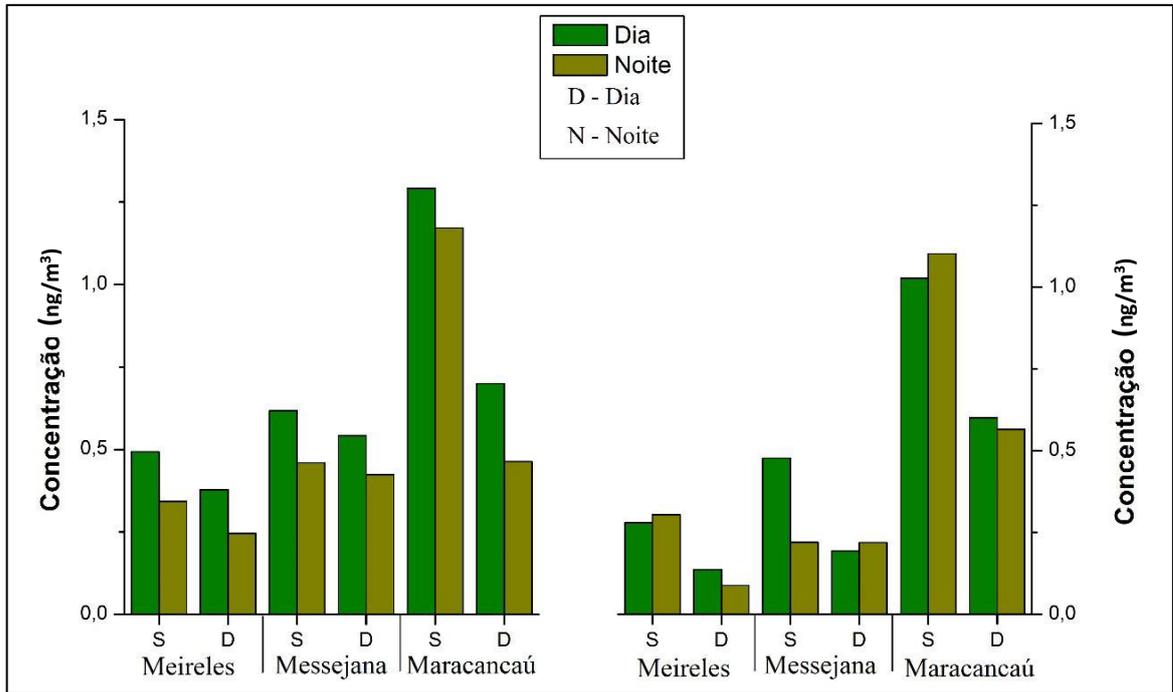
Substância carcinogênica

Como já citado, anteriormente, os CCs são comumente absorvidos pelo homem a partir da inalação de seus vapores, absorção cutânea e ingestão. Geralmente, esses compostos são irritantes para os olhos, pele e trato respiratório. No entanto, alguns compostos apresentam características fitotóxicas, teratogênicas, mutagênicas e carcinogênicas.

Ressalta-se que além dos efeitos tóxicos produzidos pelos CCs à saúde humana, animais, vegetação e outros sistemas ainda se somam àqueles resultantes dos produtos de suas reações na atmosfera, como por exemplo: ozônio, éter bis-clorometila (BCME), nitratos de peroxiacila e nitratos de peroxibenzila.

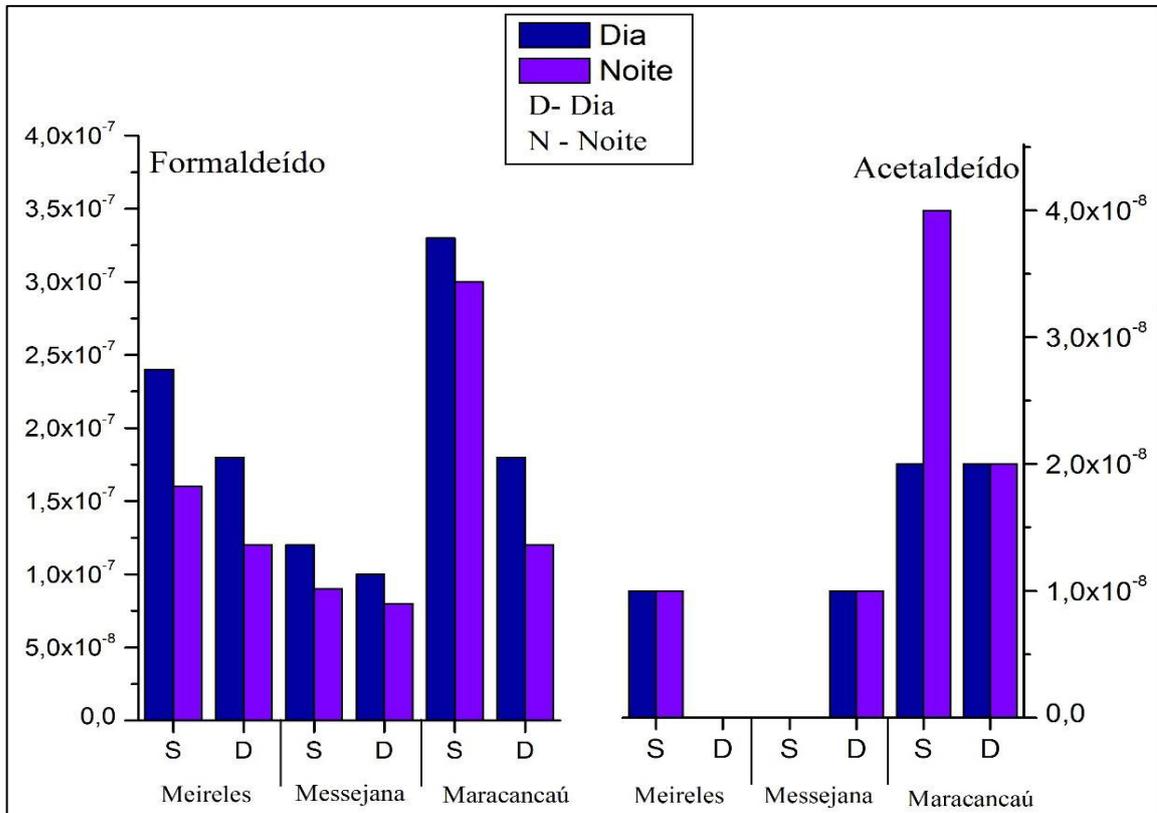
A Exposição Diária ao formaldeído e ao acetaldeído nas áreas de coleta foi realizada a partir dos limites máximos permitidos por cinco agências regulamentadoras. Verifica-se, através do Gráficos 21 e 22, que os níveis encontrados nas áreas de coleta ficaram abaixo desses limites.

Gráfico 21 – Exposição Diária ao Formaldeído e Acetaldeído – PC



Fonte: A autora.

Gráfico 22 – Risco de câncer ao Formaldeído e Acetaldeído – PC



Fonte: A autora.

CAPÍTULO 5

5 – ANÁLISE DOS DADOS REFERENTES AO PERÍODO SECO

5.1 – Análise climática do mês de novembro de 2015

Como já citado anteriormente (capítulo 4), os dados climáticos discutidos por esta pesquisa são da estação meteorológica do Pici e, portanto, referem-se a valores aproximados aos da realidade local das áreas de coleta.

Com relação às temperaturas do ar, observou-se no dia 13/11 (coletas no bairro Meireles), a temperatura variando de 28,6 °C às 9h a 29,2 °C às 15h, revelando uma amplitude térmica de 0,6 °C. Às 21h, a temperatura registrada foi de 26 °C. Já no dia 15/11 a temperatura variou de 28 °C às 9h a 30,2 °C às 15h, apresentando uma amplitude térmica de apenas 2,2 °C, configurando-se como a maior verificada em toda a pesquisa. Às 21h foi observada a temperatura de 26,6 °C (FIGURA 25).

No dia 20/11, as temperaturas registradas durante as coletas do bairro Messejana foram 29,6 °C e 30 °C, respectivamente às 9h e às 15h. Às 21h foi registrada uma temperatura de 26,6 °C. Já no dia 22/11, verificou-se as temperaturas de 28,8 °C; 29,6 °C e 26,4 °C, respectivamente às 9h, 15h e 21h (FIGURA 25).

Quanto às temperaturas observadas em Maracanaú no dia 27/11, registrou-se 29,8 °C às 9h, já às 15h e 21h verificou-se, respectivamente, 30,6 °C e 26,6. No dia 29/11 observaram-se temperaturas de 30 °C; 30,2 °C e 27 °C, respectivamente às 9h, 15h e 21h (FIGURA 25).

No que se refere à umidade relativa do ar, no dia 13/11 registrou-se 65%, 65% e 84% de umidade, respectivamente nos horários de 9h, 15h e 21h. No dia 15/11 verificou-se, nessa mesma ordem crescente de horários, 72%, 60% e 80%. Quanto à umidade relativa verificada no dia 20/11, registrou-se 57%, 57% e 77% e no dia 22/11, 65%, 59% e 79%, respectivamente às 9h, 15h e 21h. Já no dia 27/11, verificou-se 66%, 62% e 80%, e no dia 29/11, 61%, 59% e 80%. Confirma-se a concepção de Ayoade (2006), de que quanto maior for a temperatura menor será a umidade relativa.

Praticamente não ocorreu precipitação durante o mês de novembro, com exceção dos dias 8 (8mm), 12 (3mm), 14 (4mm) e 15 (4mm). Quanto à nebulosidade, verificou-se, durante as coletas do bairro Meireles, no dia 13/11: 8/10, 6/10 e 4/10, respectivamente nos horários de 9h, 15h e 21h. Já no dia 15: 9/10, 2/10 e 3/10. No dia 20/11, durante as coletas do bairro Messejana, observou-se 4/10, 3/10 e 4/10. E no dia 22/11: 6/10, 4/10 e 4/10. Em

Maracanaú, no dia 27/11: 6/10, 4/10 e 3/10. E no dia 29/11: 5/10, 2/10 e 3/10 (FIGURA 26).

No tocante à direção dos ventos, é importante destacar, durante esse período, não só o protagonismo dos alísios, mas também o efeito das brisas na dispersão dos poluentes durante a coleta do período seco. Mendonça & Danni-Oliveira (2007) caracterizam a brisa marítima e a brisa terrestre como ventos locais decorrentes de um gradiente de pressão local que se estabelece como o resultado do aquecimento diferencial da superfície com a alternância do dia e da noite.

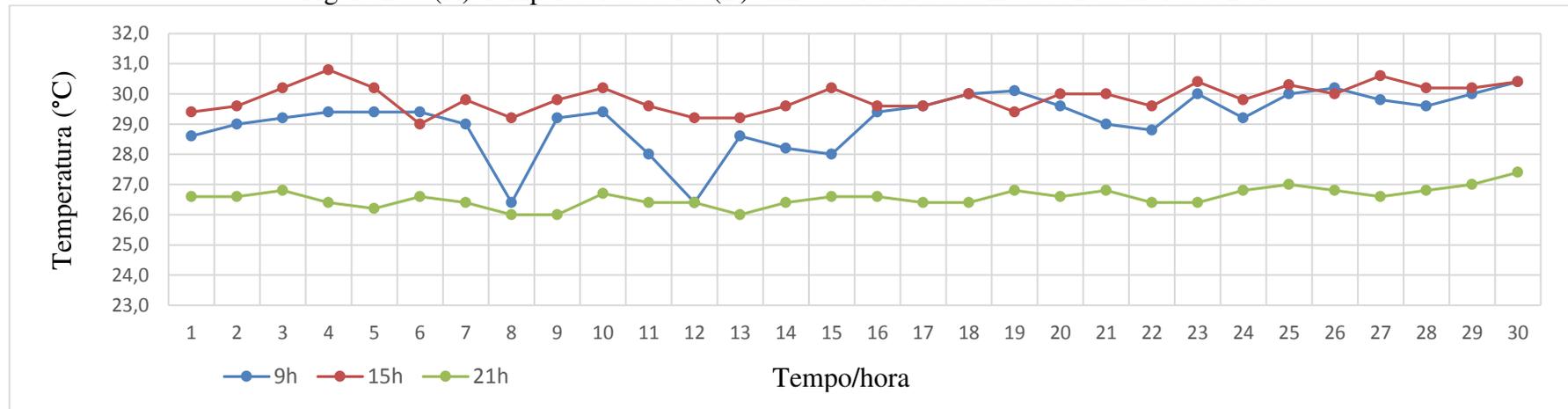
Ainda em relação aos ventos, registou-se durante as coletas do bairro Meireles, no dia 13/11, velocidades de 4 m/s, 3 m/s e 4 m/s, respectivamente às 9h, 15h e 21h. No dia 15/11, 3 m/s, 4 m/s e 4 m/s. No dia 20/11, durante as coletas no bairro Messejana, observou-se 4 m/s, 5 m/s e 4 m/s. Já no dia 22/11, verificou-se 5 m/s, 5 m/s e 4 m/s. As menores velocidades do vento foram registradas nos dias 27/11 (2 m/s, 3 m/s e 3 m/s) e 29/11 (3 m/s, 2 m/s e 3 m/s), durante as coletas no distrito industrial de Maracanaú. Observando a média das velocidades para o mês de novembro, verifica-se que a média delas chega a 5 m/s às 15h (FIGURA 27).

No tocante à direção dos ventos, observou-se no dia 13/11 a direção SE como predominante e no 15/11, predominou E. Nos dias 20, 22, 27 e 29 de novembro, predominou a direção E, nos três horários de coleta.

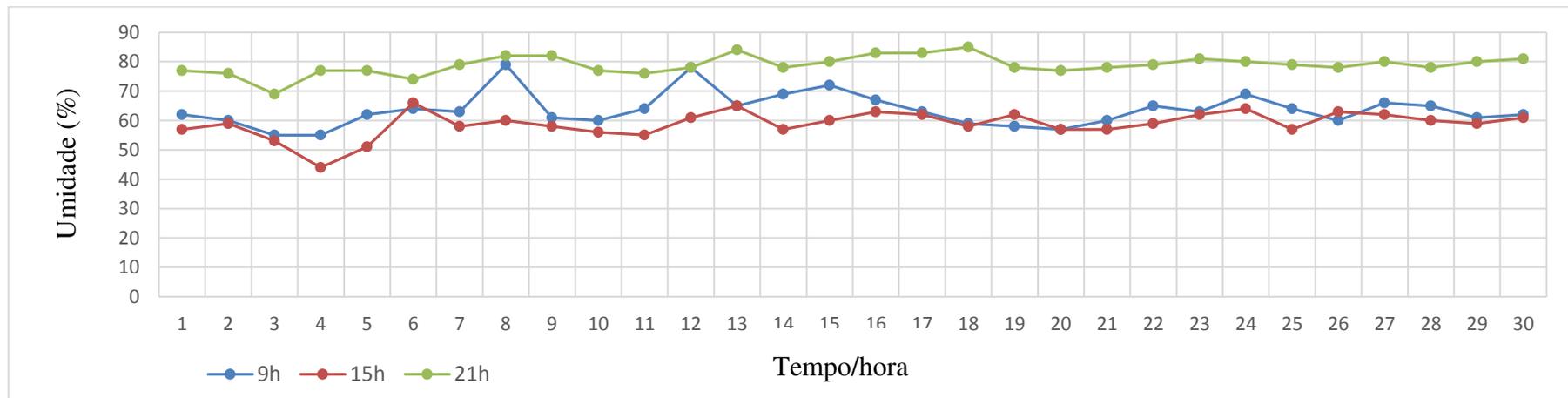
Apesar da estabilidade atmosférica desse período de coleta, como será descrito no próximo subcapítulo desta pesquisa, a velocidade dos ventos foi um fator decisivo para a dispersão dos poluentes, sobretudo no bairro Meireles. Tal bairro, mesmo apresentando um intenso fluxo de veículos e adensamento de edifícios, tem o protagonismo das brisas, que é responsável pela dispersão dos poluentes mais nessa área do que nas demais.

Por fim, a insolação durante todo o mês de novembro se manteve elevada. Nos dias 13 e 15, respectivamente, 9 e 11,3 horas de sol. Nos dias 20 e 22, respectivamente, 11,8h e 7,2h. Nos dias 27 e 29, respectivamente, 11,9h e 11, 8h. No que se refere à pressão, esta não ultrapassou, em todo o mês de abril, 1015,0 hPa (Gráfico 28).

Figura 25 - (A) Temperatura do ar e (B) umidade relativa do mês de novembro de 2015



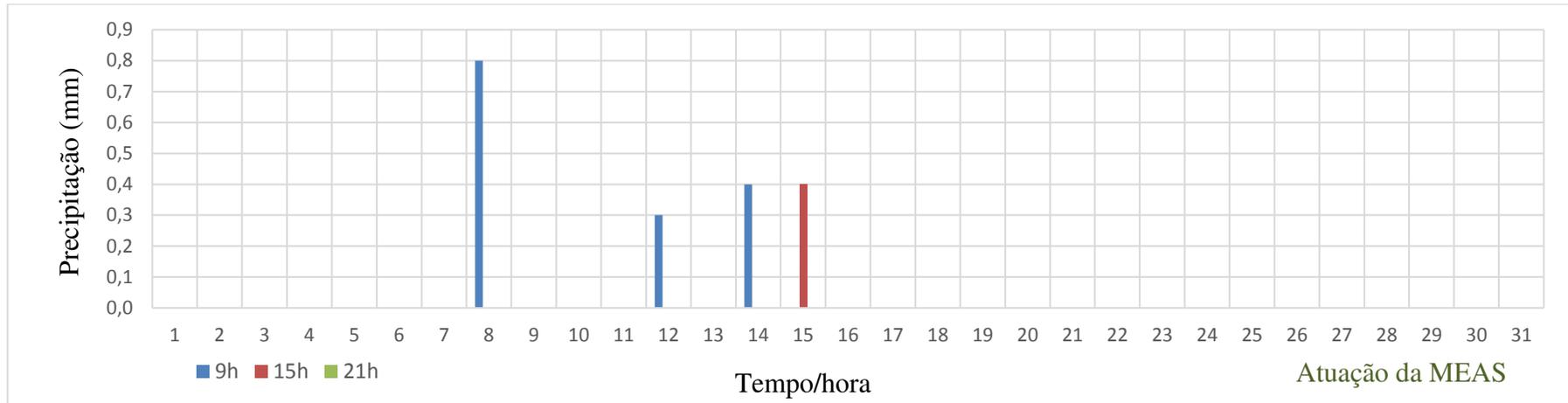
(A)



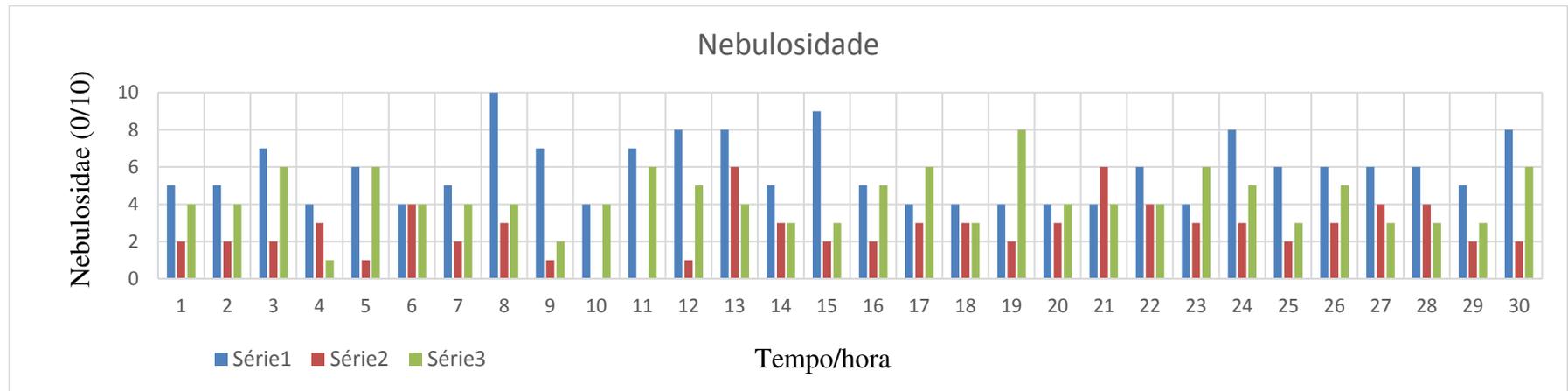
(B)

Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Organizado por Freitas (2016).

Figura 26 - (A) Precipitação e (B) nebulosidade do mês de novembro de 2015



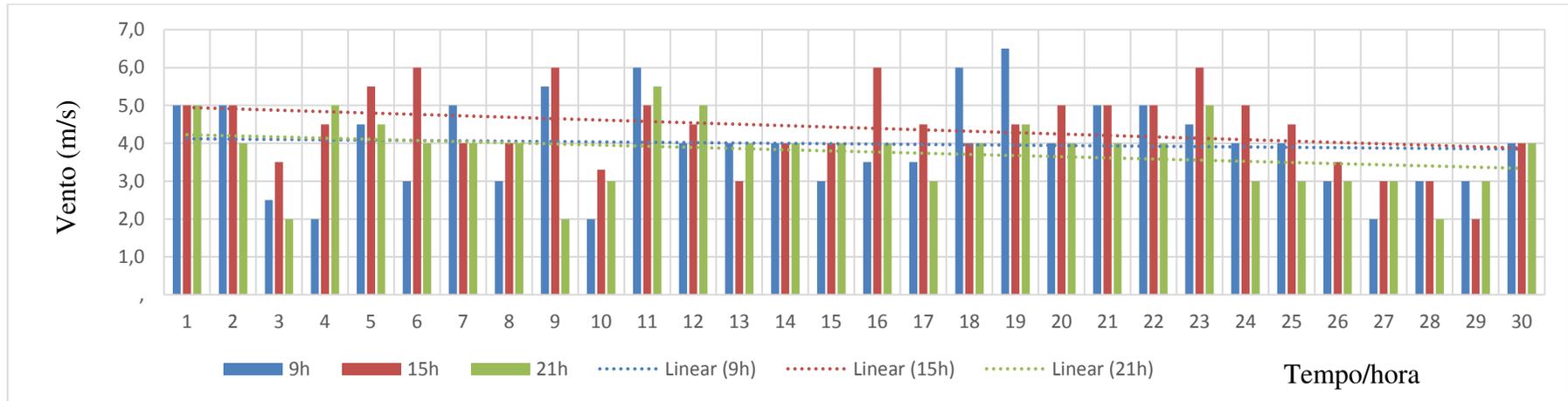
(A)



(B)

Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Organizado por Freitas (2016).

Figura 27 - (A) Velocidade e (B) direção dos ventos do mês de novembro de 2015



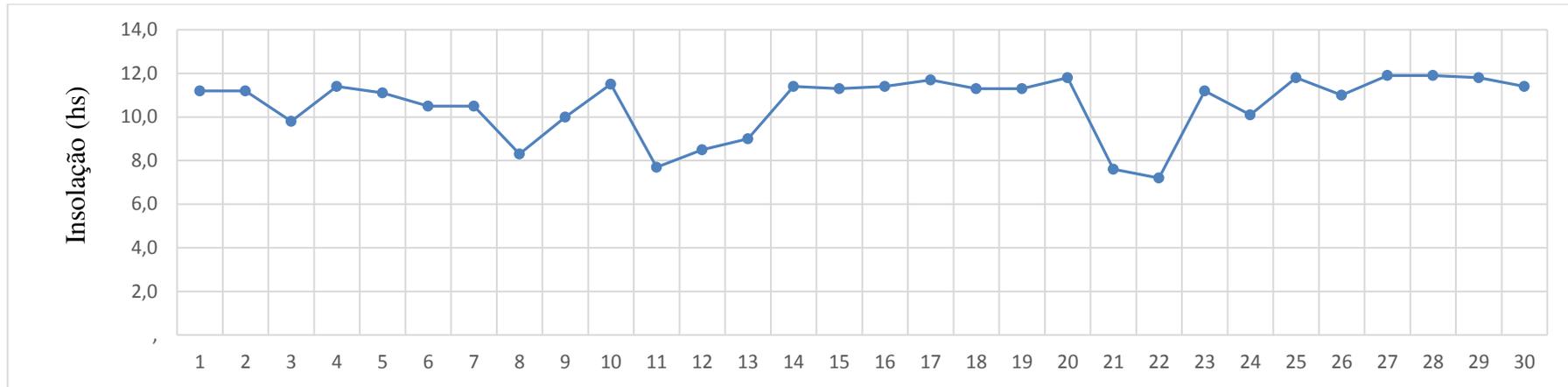
(A)

Direção dos Ventos																														
21h	E	E	E	E	E	E	E	E	E	SE	SE	E	SE	E	E	E	E	E	E	E	E	SE	E	E	E	E	E	E	SE	
15h	E	E	E	E	E	SE	SE	E	E	SE	SE	E	SE	E	E	E	SE	E	E	E	SE	SE	E	E	E	E	E	E	SE	
9h	E	E	SE	E	E	SE	SE	E	SE	E	SE	SE	E	E	SE	E	E	SE	E	E	E	E	SE							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

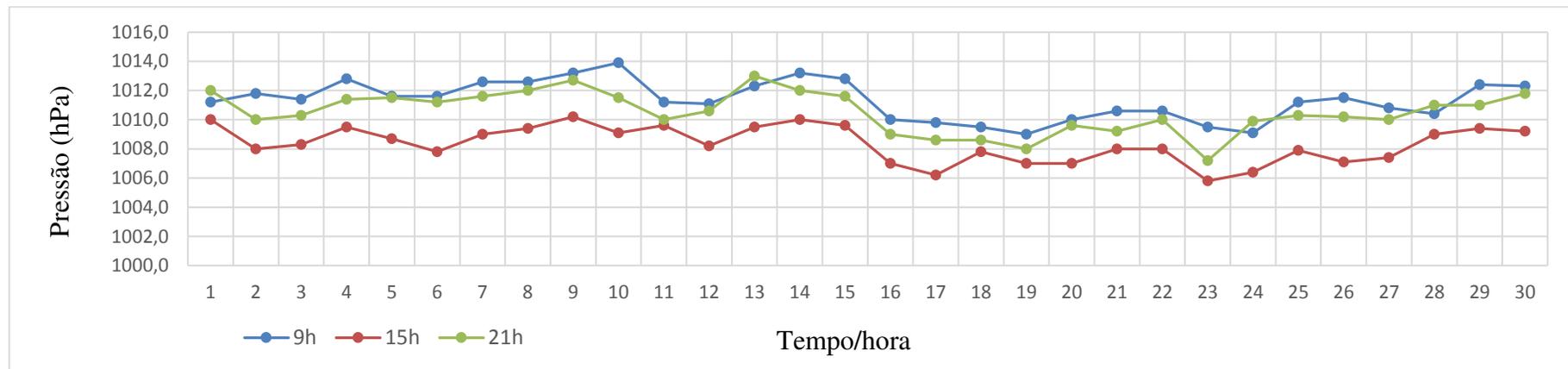
(B)

Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Organizado por Freitas (2016).

Figura 28 - (A) Insolação e (B) pressão do mês de novembro de 2015



(A)



(B)

Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Organizado por Freitas (2016).

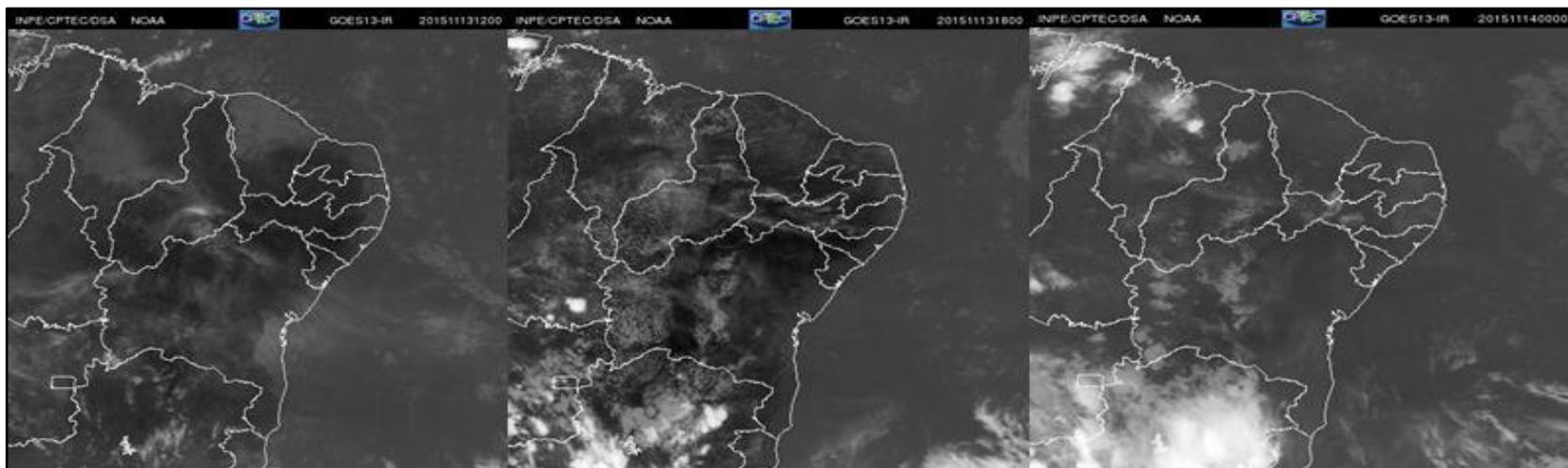
5.1.1 – Sistemas atmosféricos

Os meses mais secos da área de estudo correspondem ao período de inverno e primavera, englobando os meses de setembro, outubro e novembro e, em alguns casos, estendendo-se ao mês de dezembro. É um período de estabilidade atmosférica, em virtude do sistema de alta pressão que se encontra sobre o oceano Atlântico Sul. Logo, a área de estudo apresentou um fluxo de atividade sinótica muito estável. Nesse período, a Zona de Convergência Intertropical já está completamente no hemisfério norte da Terra.

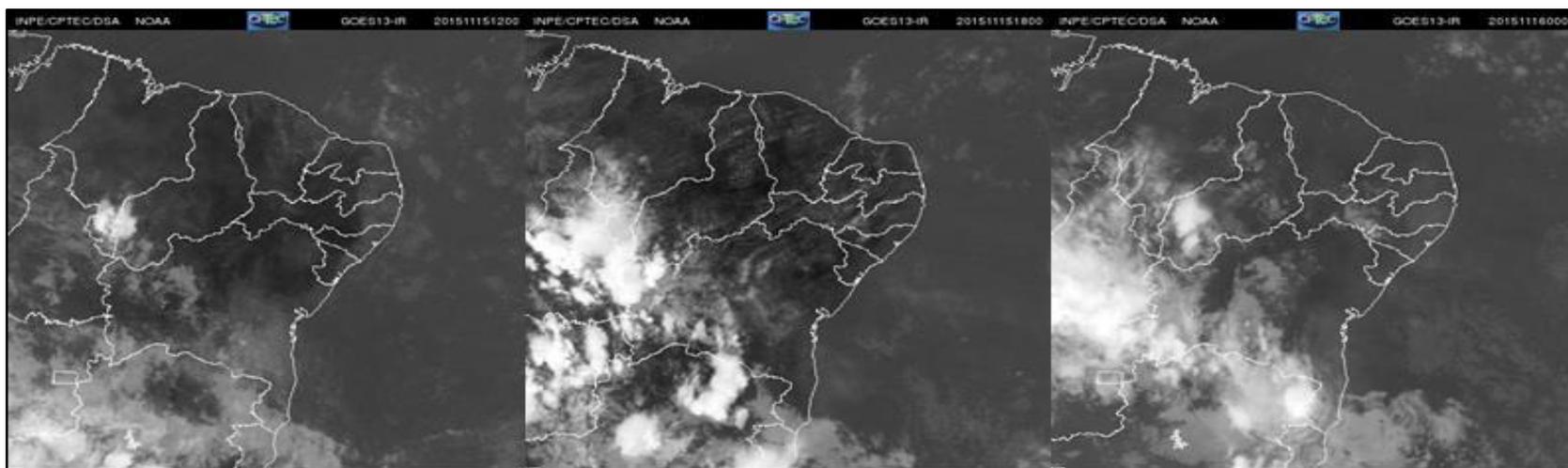
Durante esse período houve atuação da Massa Equatorial Atlântica (MEAS) associada aos ventos alísios de sudeste que estão vinculados ao anticiclone do Atlântico Sul. Secundariamente aos ventos alísios de sudeste, ocorreram as brisas.

Não ocorreram precipitações durante as coletas de novembro. É possível observar a estabilidade atmosférica sobre as áreas durante os dias de coleta, referentes ao período seco, através das figuras 29, 30 e 31. A atuação da MEAS prevaleceu por todo esse período de coleta.

Figura 29 - Compilação da dinâmica atmosférica das 9h, 15h e 21h. (A) dia 13 e (B) dia 15 de novembro de 2015



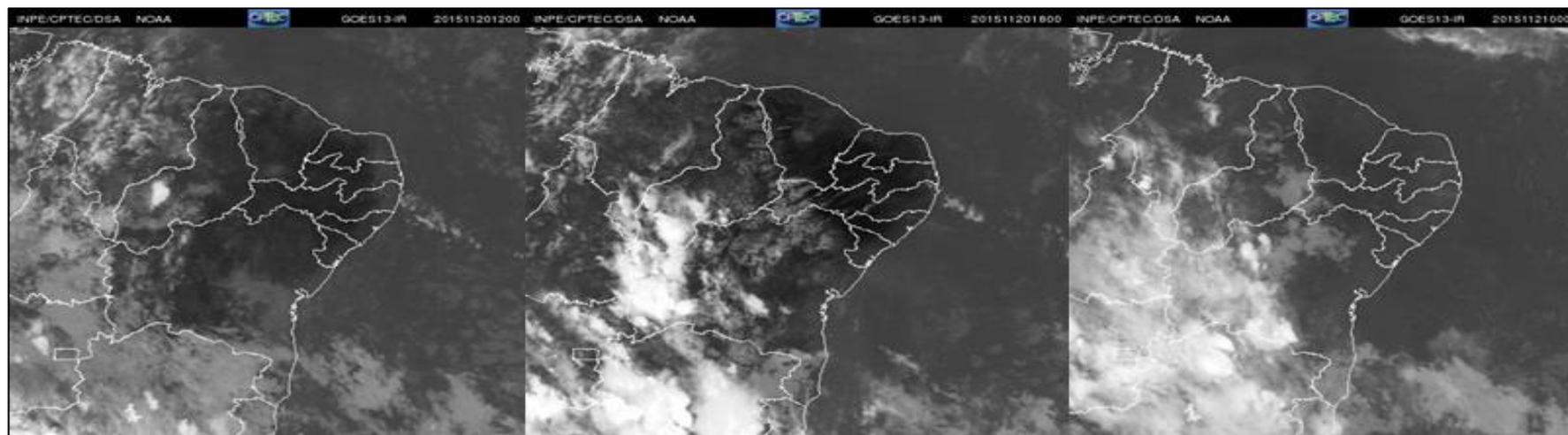
(A)



(B)

Fonte: adaptação do CPTEC/INPE – satélite GOES 13 (canal 4 - infravermelho).

Figura 30 - Compilação da dinâmica atmosférica das 9h, 15h e 21h. (A) dia 20 e (B) dia 22 de novembro de 2015



(A)



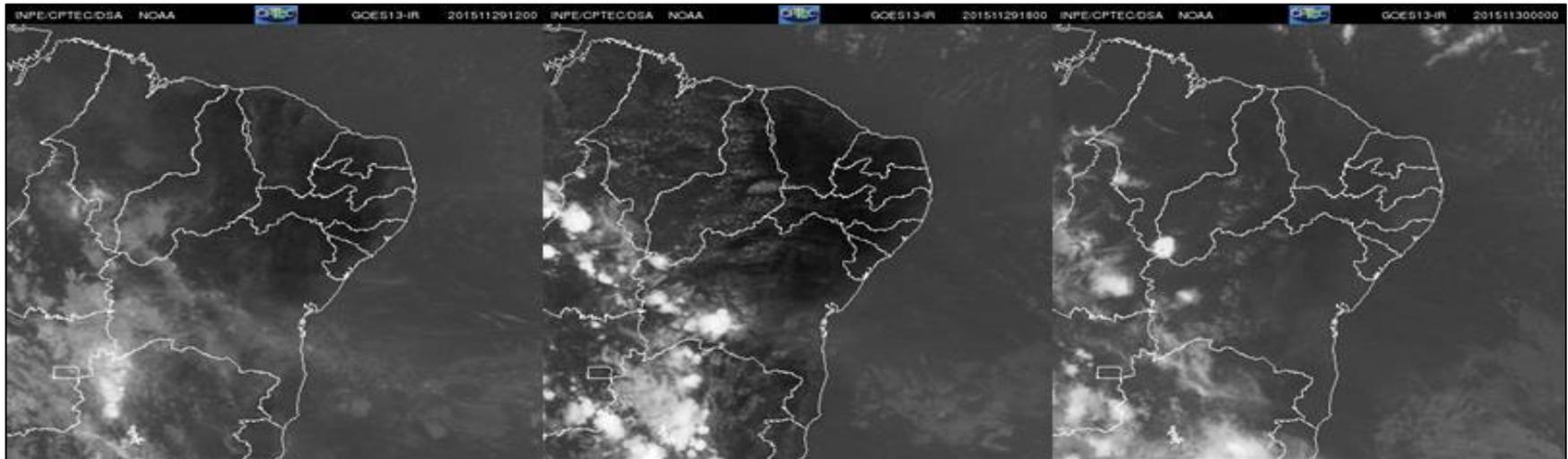
(B)

Fonte: adaptação do CPTEC/INPE – satélite GOES 13 (canal 4 - infravermelho).

Figura 31 - Compilação da dinâmica atmosférica das 9h, 15h e 21h. (A) dia 27 e (B) dia 29 de novembro de 2015



(A)



(B)

Fonte: adaptação do CPTEC/INPE – satélite GOES 13 (canal 4 - infravermelho).

5.2 – Fluxo de veículos

O incentivo à utilização de veículos individuais, inerente à sociedade moderna, contribui para o agravamento da qualidade do ar das áreas urbano-industriais. O permanente acréscimo da frota veicular, associado à defasagem do transporte coletivo das áreas metropolitanas, ocasiona lentidão do fluxo de veículos das vias de intenso tráfego. Diante disso, as pessoas que se encontram nessas vias são expostas, diretamente, aos poluentes emitidos pelos veículos e, comumente, por muito tempo.

No tocante ao fluxo de veículos, no bairro Meireles, evidenciou-se um maior tráfego durante a semana e um menor fluxo durante o domingo, se comparados ao período chuvoso. Tal fato repercute na quantidade de CC's registrados para essa área, o que possivelmente ratifica a hipótese de que quanto maior for o fluxo de veículos (concomitante com condições atmosféricas estáveis), maior será a quantidade de poluentes detectados na atmosfera sobrejacente, e vice-versa.

Durante a semana, o maior número de automóveis foi verificado no P1, com uma média de tráfego de 40 veículos do CO e 10 do CD. Os menores fluxos registrados, nesse mesmo dia, foram nos pontos 2 e 3. O P2 revelou uma média de 8 CO e 2 CD. Já o P3 apresentou uma média de 14 CO e 3 CD. Por outro lado, a média do fluxo de veículos, por minuto, no domingo foi bem menor para todos os pontos do bairro, e a quantidade do CO contabilizada foi de 19, 3 e 8, respectivamente nos P1 e P2; já do CD, foi de 6 no P1 e zero no P2 e P3. A quantidade de veículos que trafegaram por cada ponto durante a coleta pode ser observada através das tabelas 20, 21 e 22.

Tabela 20 - Fluxo de veículos no P1 do bairro Meireles - PS

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	70	8	37	6
12h	68	9	36	7
19h	60	8	30	6

Fonte: A autora.

Tabela 21 - Fluxo de veículos no P2 do bairro Meireles - PS

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	3	0	5	0
12h	4	1	4	0
19h	5	0	5	1

Tabela 22 - Fluxo de veículos no P3 do bairro Meireles - PS

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	7	0	9	0
12h	13	1	5	1
19h	6	1	10	1

Fonte: A autora.

O bairro Messejana, por sua vez, registrou o maior fluxo de veículos no P1. No dia 20/11 (semana), a média foi de 30 veículos do CO e 11 veículos do CD. Já o P2, no mesmo dia, registrou uma média de apenas 1 veículo do CO e nenhum do CD. O P3 revelou uma média de 4 veículos do CO e 1 do CD. Quanto ao fluxo no dia 22/11 (domingo), trafegaram pelo P1 18 veículos do CO e 2 do CD; nos P2 e P3, a média não ultrapassou 1 (TABELAS 23, 24 e 25).

Tabela 23 - Fluxo de veículos no P1 do bairro Messejana - PS

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	56	10	28	3
12h	54	10	30	5
19h	50	8	26	2

Fonte: A autora.

Tabela 24- Fluxo de veículos no P2 do bairro Messejana - PS

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	2	1	2	1
12h	2	0	1	0
19h	1	0	1	0

Fonte: A autora.

Tabela 25- Fluxo de veículos no P3 do bairro Messejana - PS

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	2	0	2	0
12h	1	1	2	1
19h	1	1	1	0

Fonte: A autora.

Algumas restrições referentes às emissões veiculares foram colocadas em prática no ano de 1988, as quais obedeciam a um cronograma gradativo de aplicação gerenciado pelo PROCONVE. No entanto, os veículos em uso normal não são fiscalizados, permanentemente,

pelos órgãos ambientais federais e estaduais, não havendo nenhuma fiscalização no sentido de garantir a manutenção dos índices definidos, embora a Resolução nº 7 de 31/8//1993 do CONAMA defina diretrizes básicas e padrões de emissão para o estabelecimento de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso – I/M.

Quanto ao Distrito Industrial de Maracanaú, o maior fluxo dessa área foi verificado no P3, tanto na semana, quanto no domingo. No dia 27/11, esse ponto registrou 21 veículos do CO e 2 do CD. Já os pontos 1 e 2 registraram, respectivamente, 8 e 9 veículos do CO, e 1 e 1 do CD. O tráfego verificado no dia 29/11 foi bem pequeno para todos os pontos, não ultrapassando uma média de 4 veículos do CO e 1 veículo do CD, no P3. É importante destacar que essa área de estudo tem as indústrias como a maior fonte poluidora. E que, por isso, a quantidade de poluentes nessa área, ainda que com um menor fluxo de veículos (TABELAS 26, 27 e 28), apresenta uma quantidade bem superior de poluentes na atmosfera da RMF.

Tabela 26 - Fluxo de veículos no P1 do Distrito Industrial de Maracanaú - PC

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	3	1	2	0
12h	10	0	2	1
19h	2	1	2	1

Fonte: A autora.

Tabela 27 - Fluxo de veículos no P2 do Distrito Industrial de Maracanaú - PC

	Semana		Domingo	
	CO	CD	CO	CD
7h	4	1	2	0
12h	8	0	1	1
19h	2	1	2	0

Fonte: A autora.

Tabela 28 - Fluxo de veículos no P3 do Distrito Industrial de Maracanaú - PC

	27 de novembro		29 de novembro	
	CO	CD	CO	CD
7h	30	2	16	1
12h	12	1	13	2
19h	18	1	10	1

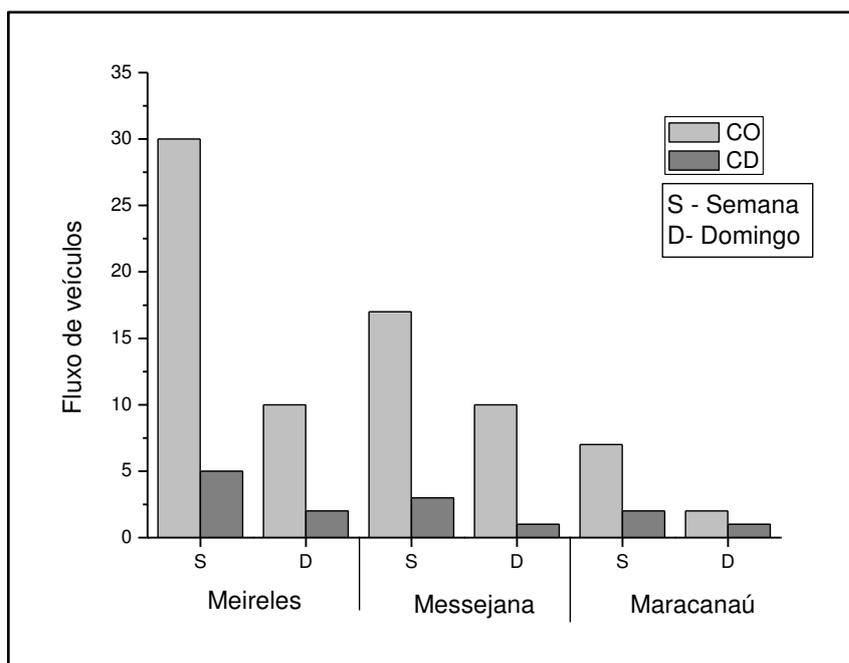
Fonte: A autora.

Um dos maiores problemas dos combustíveis brasileiros decorre não só dos teores de enxofre na gasolina e no óleo diesel - que embora tenham tido suas concentrações reduzidas,

ainda permanecem elevados -, mas também pela mistura que ocorre dentro dos mesmos, por exemplo, com a presença de álcool na gasolina.

O maior fluxo de veículos neste experimento manifestou-se igual ao do período chuvoso: Meireles tendo o maior fluxo tanto de CO, como de CD, seguido por Messejana e DI do Maracanaú, respectivamente (GRÁFICO 23).

Gráfico 23 – Somatório do fluxo de veículos por área



Fonte: A autora.

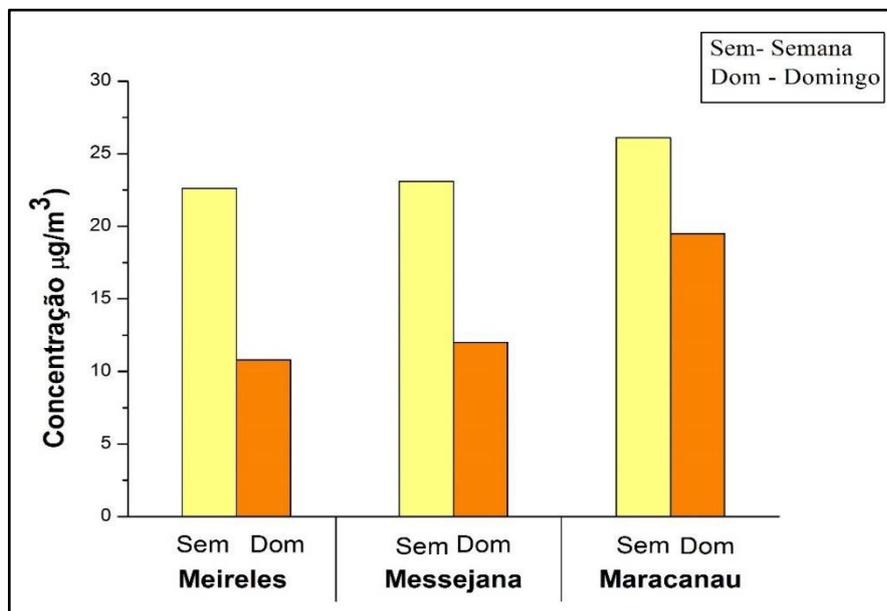
5.3 – Material Particulado Respirável

Para a avaliação e fixação dos limites de concentração que asseguram a saúde e o bem-estar das pessoas, foram fixados dois padrões de qualidade do ar. Tem-se os padrões primários, os quais ultrapassados “poderão afetar à saúde da população, podendo ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos. Constituindo-se em metas de curto e médio prazo” (Resolução do CONAMA nº 5/89). Portanto, os padrões primários constituem-se no limite inferior a partir do qual o contaminante pode causar prejuízos à população e ao seu meio.

Os dados coletados em campo, durante o período seco, assim como no período chuvoso, não ultrapassaram o limite máximo indicado pelas agências, a exemplo do CONAMA. No entanto, foram detectadas concentrações superiores às verificadas no primeiro período.

Assim como no período chuvoso, o DI de Maracanaú se destacou como a área de maior concentração de MPR (GRÁFICO 24).

Gráfico 24 – Concentração de MPR na área de estudo - PS



Fonte: A autora.

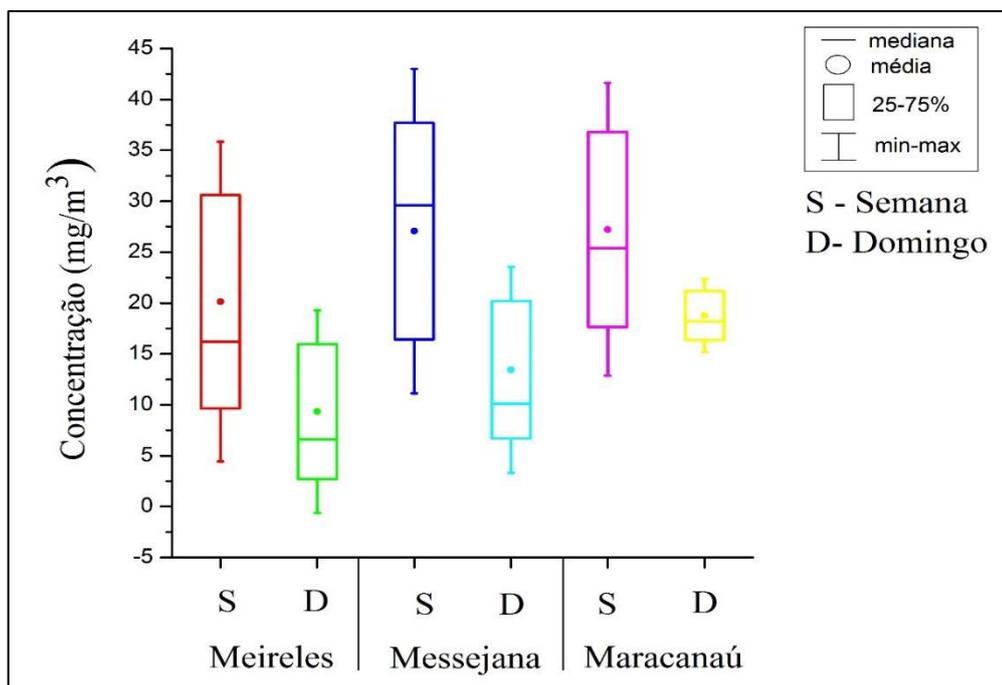
Ao partir para a análise individual por área de estudo, verificou-se que no P1 do Distrito Industrial de Maracanaú foram registradas as maiores concentrações de MPR, $37,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $21,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$; seguido pelo P2 ($23,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $10,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$); e P3 ($15,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), respectivamente na semana e no domingo.

O bairro Messejana, por sua vez, obteve os seguintes resultados, sobre concentrações de MPR: P1 ($36,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $21,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$); seguido pelo P2 ($15,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $10,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$); e P3 ($18,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $16,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), respectivamente na semana e no domingo.

O bairro Meireles, também nesse período, revelou-se como o de menor concentração de MPR. E mais uma vez é importante destacar a influência dos alísios e das brisas, as possíveis responsáveis, pela maior dispersão dos poluentes em análise, embora essa área seja extremamente verticalizada e detenha o maior fluxo de veículos. Os ventos se destacaram, e assumiram um papel determinante para a dispersão e/ou remoção. Mas vale lembrar que se o movimento do ar não for ascendente, e sim horizontal, os poluentes lançados em tal área serão levados e comprometerão a qualidade do ar mais adiante.

O gráfico abaixo traz as concentrações: mínimo, máxima, média e mediana das áreas de coleta (GRÁFICO 25).

Gráfico 25 – Concentração máxima, mínima, média e mediana de MP (PS)



Fonte: A autora.

5.4 – Compostos Carbonílicos

Constatou-se, durante esse período de coleta, que as concentrações de formaldeído e acetaldeído foram menores do que as detectadas no período chuvoso. Mas assim como no primeiro experimento, as maiores concentrações foram registradas nos dias referentes à semana, em função do maior fluxo de veículos; e sempre maiores durante o dia, se comparadas à noite (TABELAS 25, 26 E 27), ratificando, possivelmente, a ideia de que os poluentes primários se transformam em secundários, quando expostos à radiação solar.

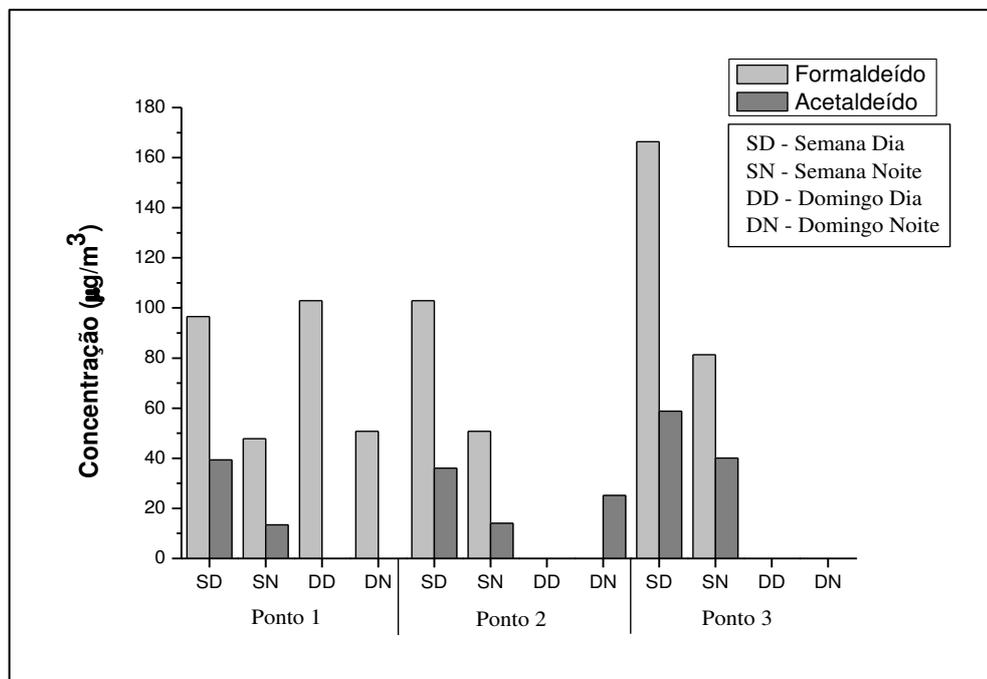
Tanto durante o período seco, quanto durante o período chuvoso detectou-se uma menor concentração de acetaldeído, em comparação ao formaldeído, excetuando-se em alguns pontos do DI de Maracanaú, onde a concentração foi detectada de maneira inversa.

A maior concentração de formaldeído em comparação ao acetaldeído pode ser justificada, entre outras fontes, pelo uso do álcool, pois a literatura mostra que veículos movidos a álcool emitem mais aldeídos que os demais combustíveis. Ressalta-se a adição do álcool também na gasolina.

Em relação aos CCs detectados no bairro Meireles, detectou-se as concentrações de formaldeído no P3 ($166 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $81,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$), respectivamente, dia e noite da semana.

(GRÁFICO 26). Foi também no P3 onde se detectaram as maiores concentrações de acetaldeído (58,84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 40,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), dia e noite, respectivamente. Diferentemente do primeiro experimento, a acroleína ficou abaixo do limite de detecção.

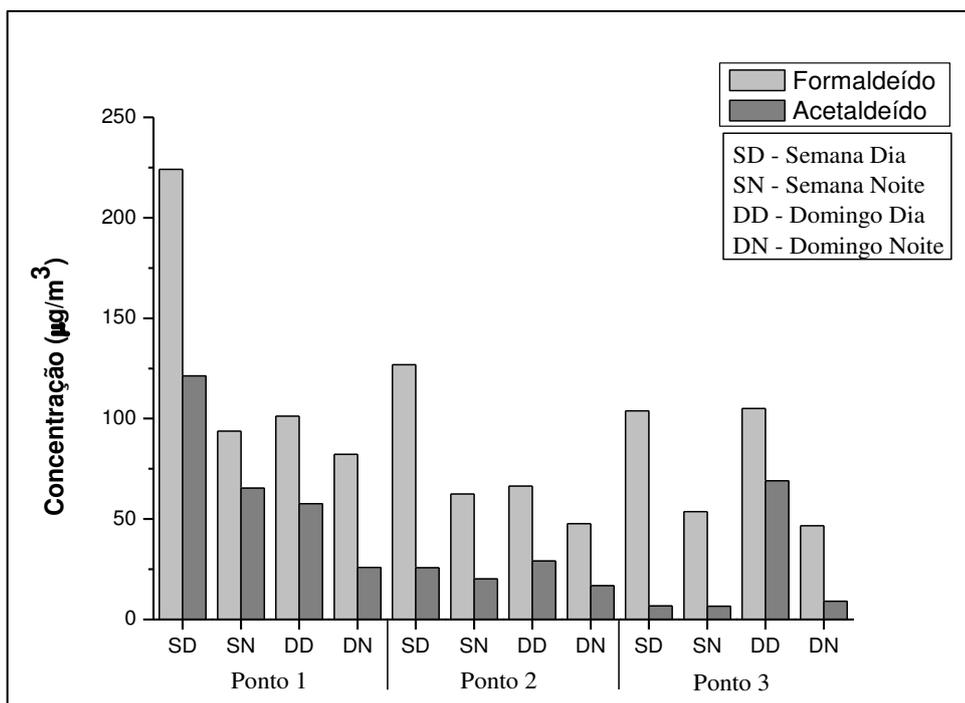
Gráfico 26 – Concentrações de formaldeído e acetaldeído no bairro Meireles - PS



Fonte: A autora.

As maiores concentrações de CCs em Fortaleza foram detectadas, mais uma vez, no bairro Messejana (TABELAS 26, 27 E 28). O P1 desse bairro apresentou-se como o de maior concentração. Durante a semana foram registradas concentrações de 224,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 93,74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. No domingo, 101,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 82,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dia e noite, respectivamente. Consequentemente compreende-se que este ponto é aquele que apresenta a pior qualidade do ar, possivelmente em virtude do maior fluxo de veículos que trafegam às suas margens. O P3, por sua vez, consolidou-se como o de menor concentração dessa área (GRÁFICO 27).

Gráfico 27 – Concentrações de formaldeído e acetaldeído no bairro Messejana - PS



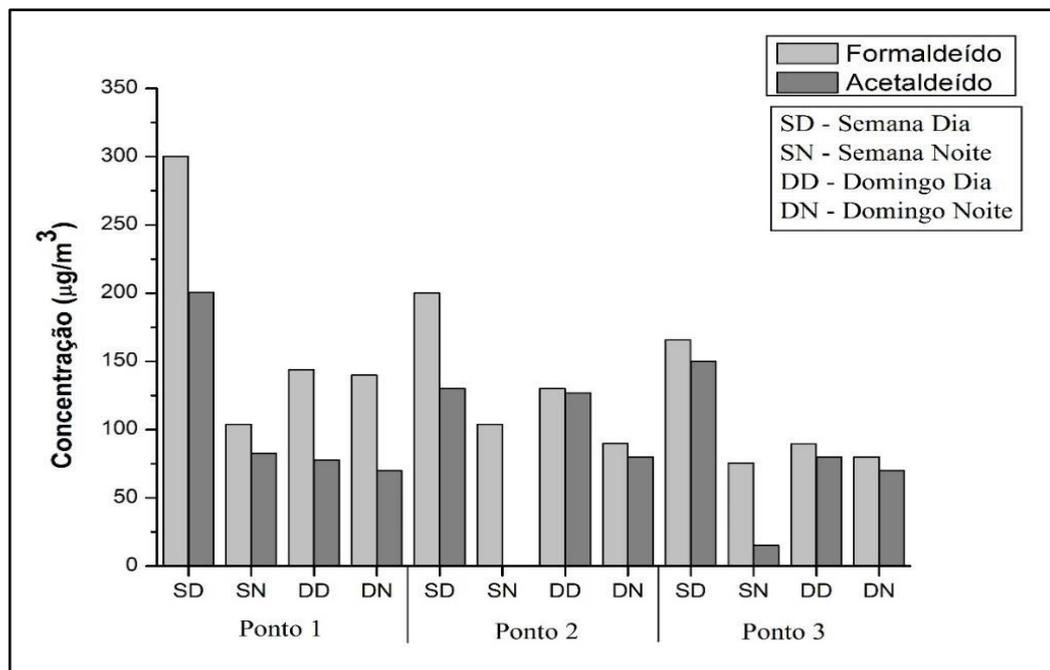
Fonte: A autora.

Foi no Distrito Industrial do Maracanaú onde as maiores concentrações de CCs desse período foram detectadas. O P1 do DI de Maracanaú exibiu as maiores concentrações entre todos os pontos da pesquisa, seguido pelos pontos 2 e 3 (GRÁFICO 28). É importante destacar que neste experimento as concentrações dos CCs foram menores do que no período chuvoso. Tal fato pode ser explicado pelas condições do tempo nos dias de coleta. No PC o céu estava bastante nublado, porém não precipitou, o que possivelmente justifica um maior aprisionamento dos poluentes na atmosfera. Já no segundo, a velocidade dos ventos esteve maior, o que pode ter contribuído para uma maior remoção dos CCs.

Detectou-se no P1 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $93,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$, durante a semana. No domingo, $143,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O P3 foi aquele que registrou as menores concentrações ($165,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $75,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$), durante o dia e noite da semana. Já no domingo, $89,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A emissão de poluentes oriunda das indústrias em atividade nos Distritos Industriais localizados na cidade compromete a qualidade do ar que sua população respira, trazendo significativas consequências à saúde pública local. O estudo de Cajazeira (2012) assinalou que a distribuição espacial dos casos de internação da população em Maracanaú, por doenças respiratórias, entre os anos 2000 e 2010, apontou alguns setores municipais que apresentam maior concentração de internações hospitalares, como os bairros Jereissate I (área de estudo) e II, Timbó e o Distrito de Pajuçara.

Gráfico 28 – Concentrações de formaldeído e acetaldeído no DI de Maracanaú - PS



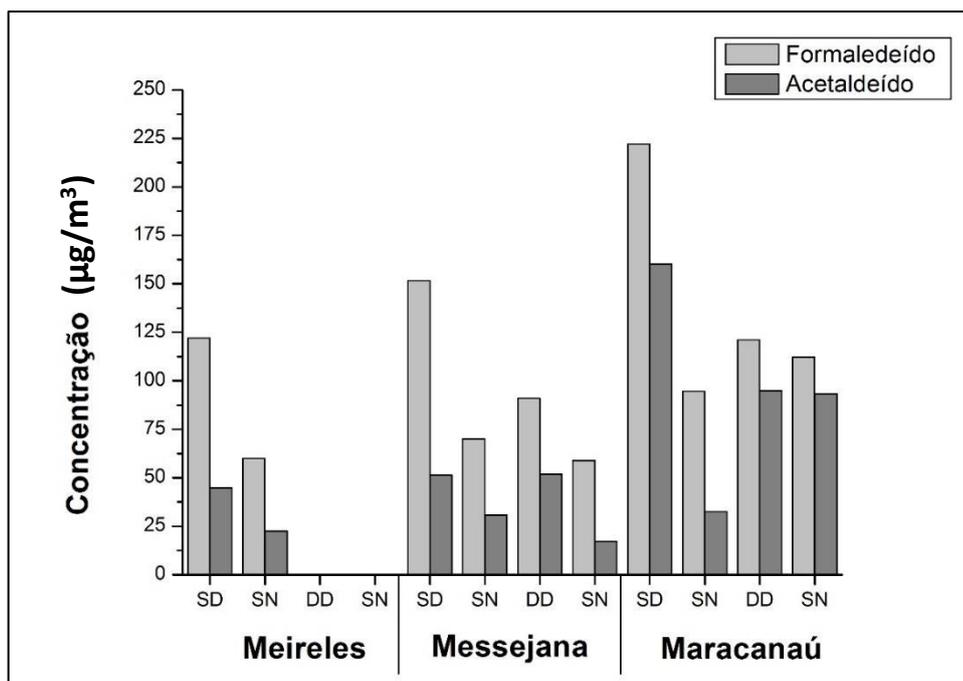
Fonte: A autora.

Essa mesma autora, através de sua pesquisa, chegou à conclusão de que os moradores do DI de Maracanaú estão conscientes dos problemas que enfrentam, das péssimas condições de qualidade do ar a que estão sujeitos e, ainda, de que suas moradias foram construídas em local inadequado com relação à posição das indústrias. Fato também verificado por Sousa Neto (2010), que também expôs a situação, em pesquisa de mestrado, avaliando como os sujeitos implicados nesse processo veem a qualidade do ar dessa região. Evidenciando o resultado com base em entrevistas com os moradores próximos às áreas industriais, revela-se que: 42% classificou a qualidade do ar como ruim e péssima. Já entre os que residiam em bairros mais distantes e afetados pela poluição do DI somente durante uma parte do ano, como o Centro, Jereissati I e II, 32 % dos entrevistados classificaram a qualidade do ar como regular

Ao verificar o gráfico 29, é possível identificar que as menores concentrações de CCs foram registradas no bairro Meireles. O formaldeído e acetaldeído estiveram abaixo de detecção, no domingo. Nesse dia a velocidade do vento ultrapassou os 4 m/s, e a nebulosidade, apenas às 9h, chegou a 8/10, nas demais horas não ultrapassou a 3/10 (Estação Meteorológica do Pici). Ressalta-se mais uma vez o efeito das brisas como fator determinante para a dispersão dos poluentes, que não foi mensurada no local.

Já o bairro Messejana, apesar da velocidade dos ventos terem atingido 5 m/s, a nebulosidade se manteve 4/10 m/s e durante todo o dia exibiu as segundas maiores concentrações de CCs. Já no DI de Maracanaú a nebulosidade chegou a 6/10, e a velocidade dos ventos não ultrapassou os 3 m/s.

Gráfico 29 - Concentrações de formaldeído e acetaldeído por área – PS



Fonte: A autora.

Por meio da leitura da Tabela 29, evidencia-se que neste experimento, predominou no bairro Meireles e Messejana, a emissão de CCs oriundos de outras fontes, como das reações fotoquímicas (período de maior radiação e insolação). O Distrito Industrial de Maracanaú, por sua vez, assim como no período chuvoso, evidenciou a predominância de emissão via fontes antropogênicas.

Tabela 29 – Razão entre acetaldeído/formaldeído - PS

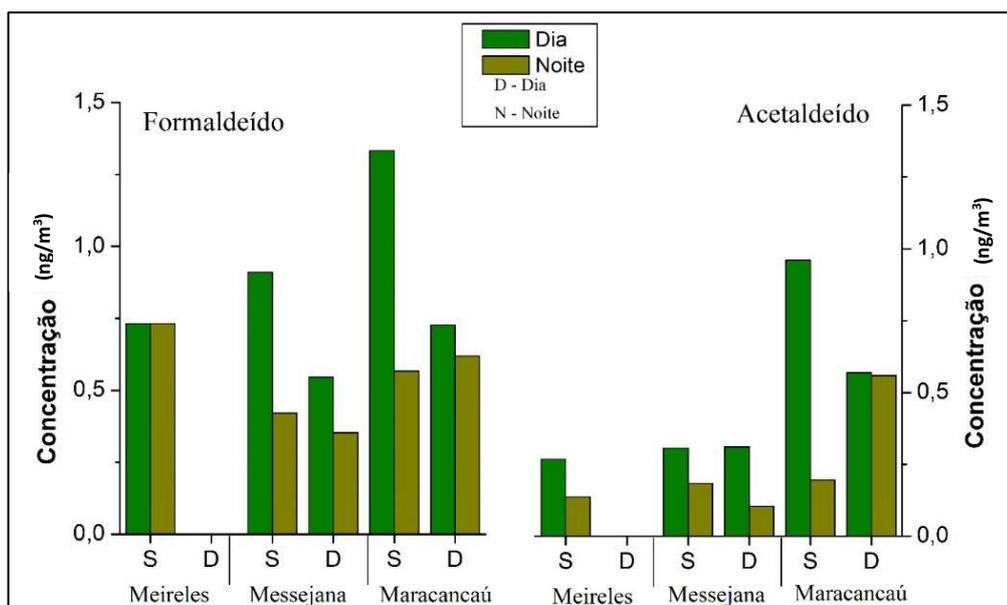
	SD	SN	DD	DN
Meireles	2,72	2,66	-	-
Messejana	2,95	2,27	1,75	3,40
Maracanaú	1,38	2,90	1,27	1,10

Fonte: A autora.

5.4.1 – Risco à saúde

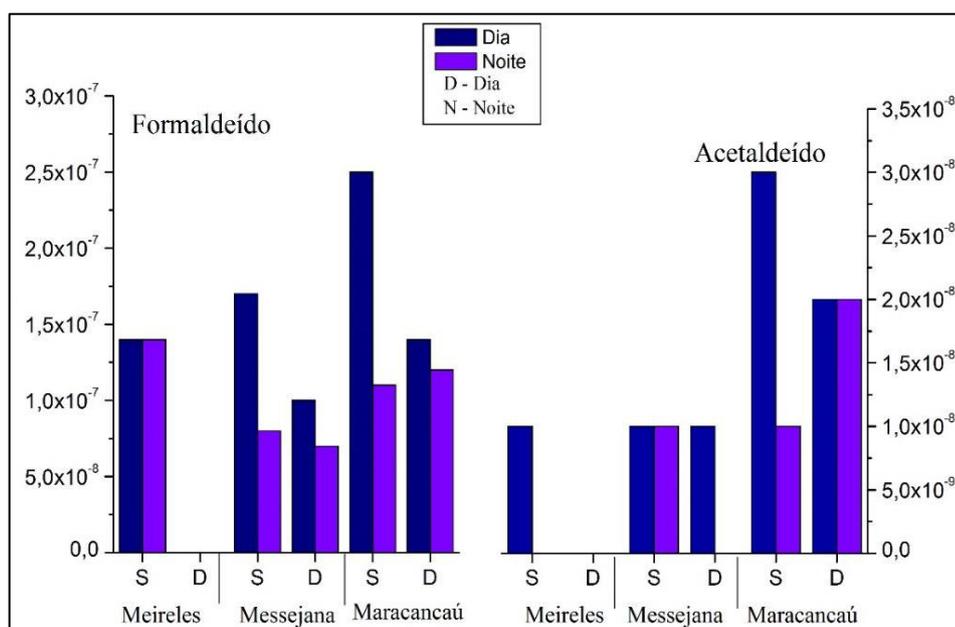
Com base no Gráfico 30, depreende-se que os níveis de formaldeído e acetaldeído estão abaixo dos estabelecidos pelas agências internacionais, como é o caso da NIOSH. Também não foi evidenciado risco de câncer para as áreas de coleta de dados (Gráfico 31).

Gráfico 30 – Exposição Diária ao Formaldeído e Acetaldeído - PS



Fonte: A autora.

Gráfico 31 – Risco de Câncer ao Formaldeído e Acetaldeído – PS



Fonte: A autora.

CAPÍTULO 6

6 – CONCLUSÕES

As características do tempo atmosférico foram significativas para a concentração e/ou remoção dos poluentes. A precipitação (provocada pela ZCIT) e os ventos (alísios e brisas), se configuraram como os principais removedores/dispersores da poluição atmosférica da área de estudo.

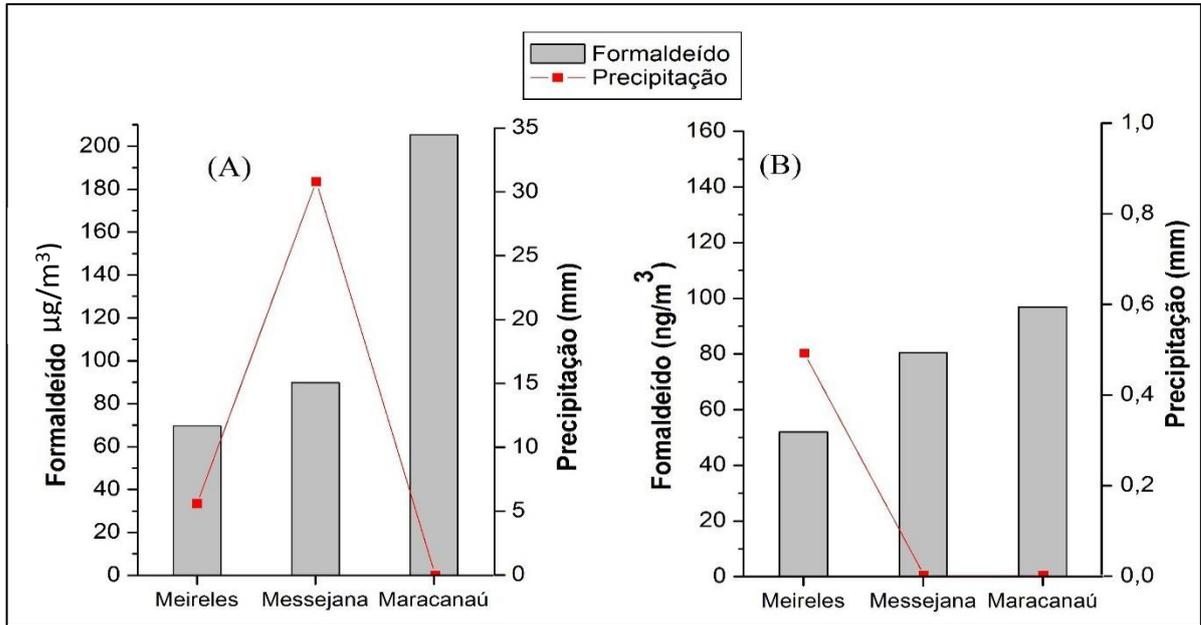
A ocorrência de precipitação pluviométrica, além de ser um indicador de que a atmosfera está instável, promove a remoção do ar impuro, pois uma parcela significativa de materiais particulados suspensos é incorporada à água da chuva. Além disso, o solo úmido evita a re-suspensão das partículas para a atmosfera.

Já ação do vento é definida por sua velocidade. Quanto maior a velocidade do vento, maior é o volume de ar que passa pela saída da chaminé por unidade de tempo e, portanto, menor é a concentração por unidade de volume (OKE, 1978). Logo, o bairro Meireles favoreceu-se por estar, especialmente, a barlavento das brisas marítimas e terrestres.

A partir da leitura dos Gráficos 32 a 34, é possível verificar que as concentrações de formaldeído, acetaldeído e MPR, detectadas nas três áreas de estudo, variam devido à ocorrência ou não de chuva. A precipitação acima de 30 mm (GRÁFICO 32), verificada em Messejana, no dia 24/04 contribuiu para a remoção de poluentes na atmosfera, diminuindo dessa forma, a concentração de formaldeído e evidenciando uma quantidade de MPR abaixo do limite de detecção (GRÁFICO 34).

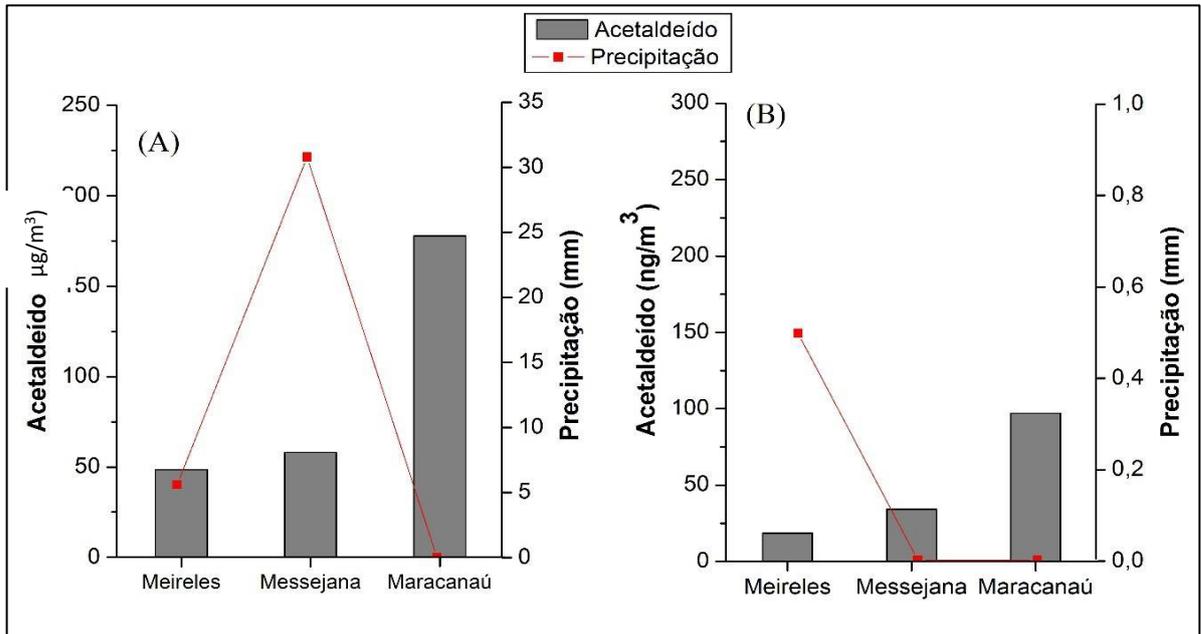
De forma inversa ao que ocorreu em Messejana, as concentrações de formaldeído no Distrito Industrial de Maracanaú foram bastante elevadas, tanto de formaldeído quanto de acetaldeído, além da detecção de MPR, e isso se deve, em parte, à ausência de chuva. O que fortalece a ideia de que a chuva (acima de 30 mm) pode exercer considerável influência na remoção de poluentes.

Gráfico 32 – Relação entre Precipitação e Formaldeído (A) Semana (B) Domingo – PC



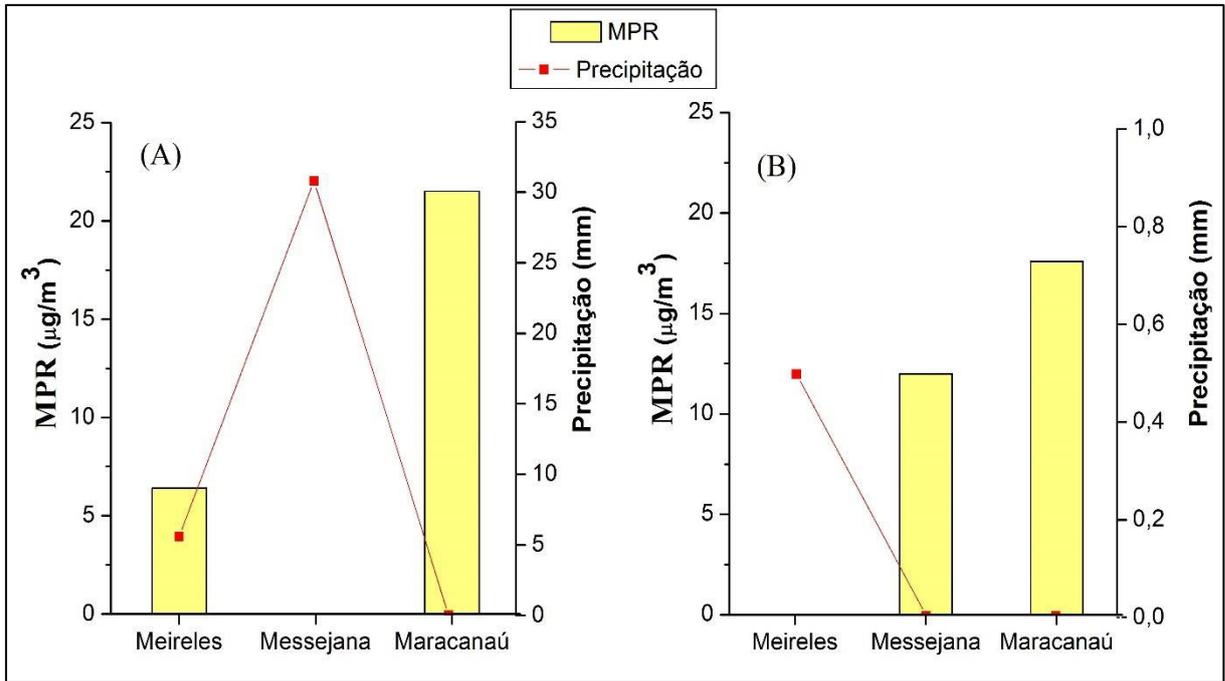
Fonte: A autora.

Gráfico 33 – Relação entre Precipitação e Acetaldeído (A) Semana (B) Domingo – PC



Fonte: A autora.

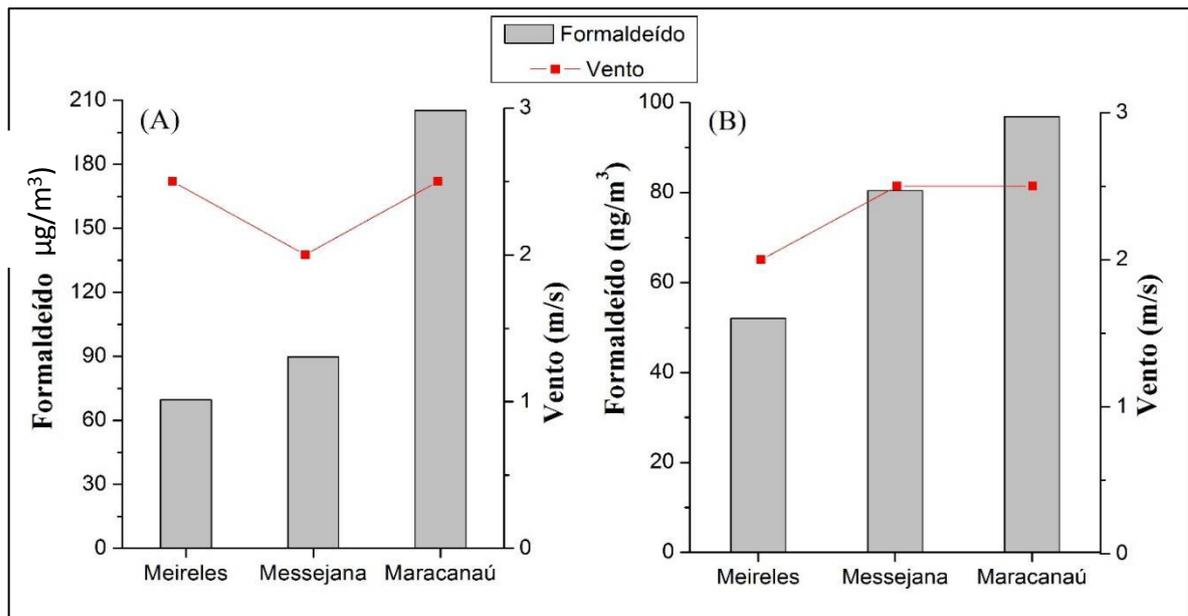
Gráfico 34 – Relação entre Precipitação e MPR (A) Semana (B) Domingo – PC



Fonte: A autora.

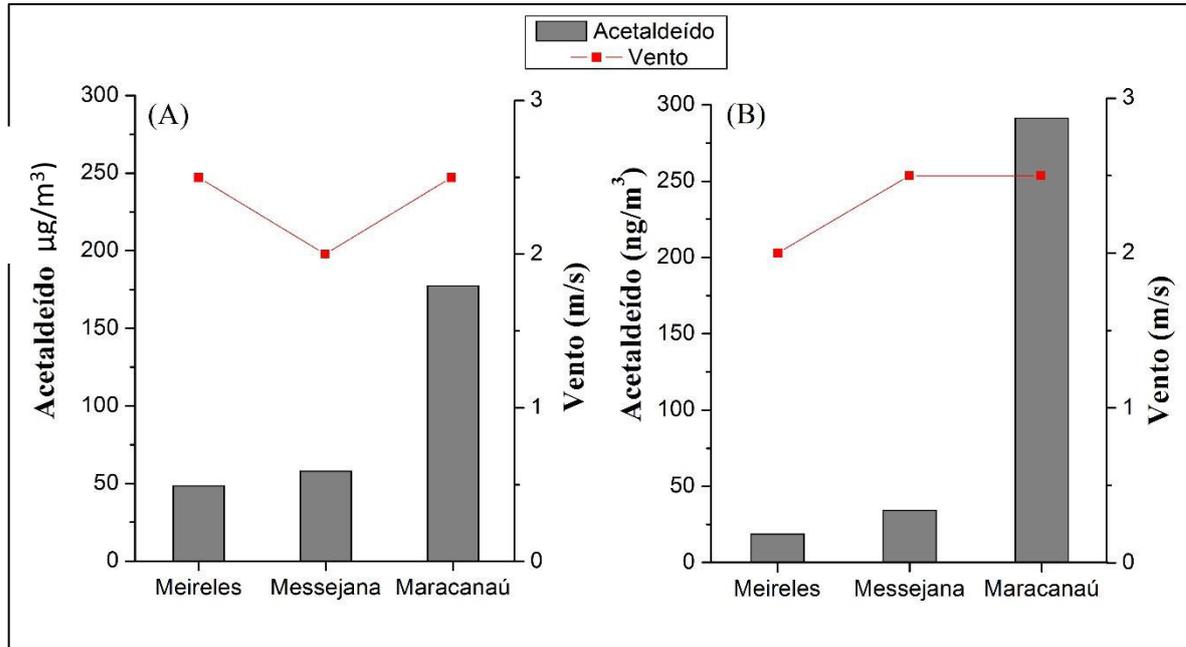
A velocidade dos ventos foi expressiva para a remoção dos poluentes, sobretudo, no bairro Meireles, que se constituiu como a área de menores concentrações de poluentes (GRÁFICOS 35 a 37).

Gráfico 35 – Relação entre Vento e Formaldeído (A) Semana (B) Domingo – PC



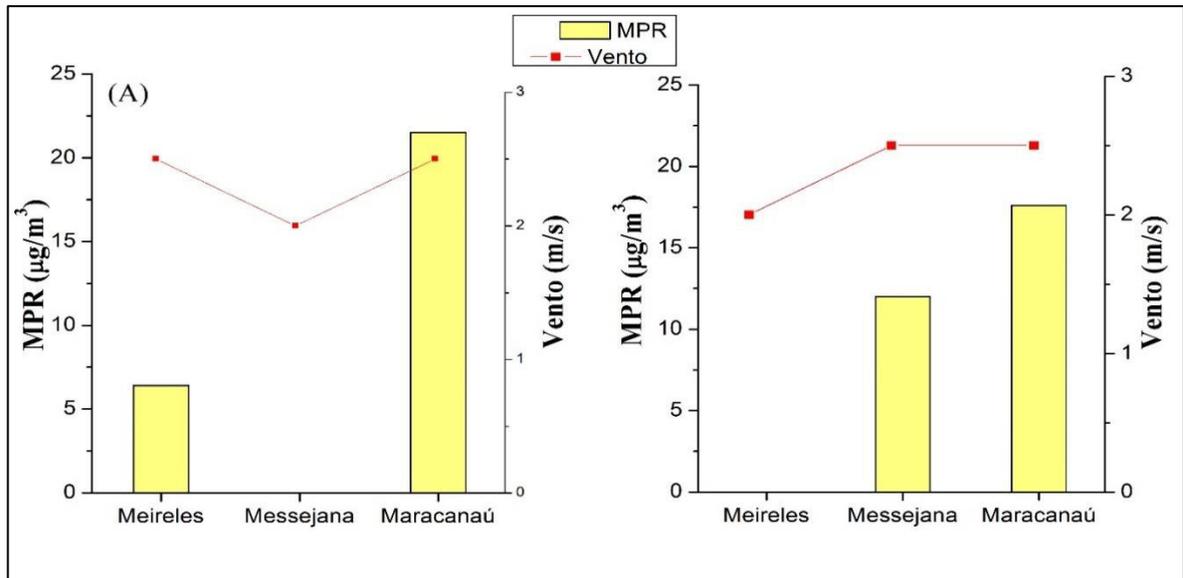
Fonte: A autora.

Gráfico 36 – Relação entre Vento e Acetaldeído (A) Semana (B) Domingo – PC



Fonte: A autora.

Gráfico 37 – Relação entre Vento e MPR (A) Semana (B) Domingo – PC



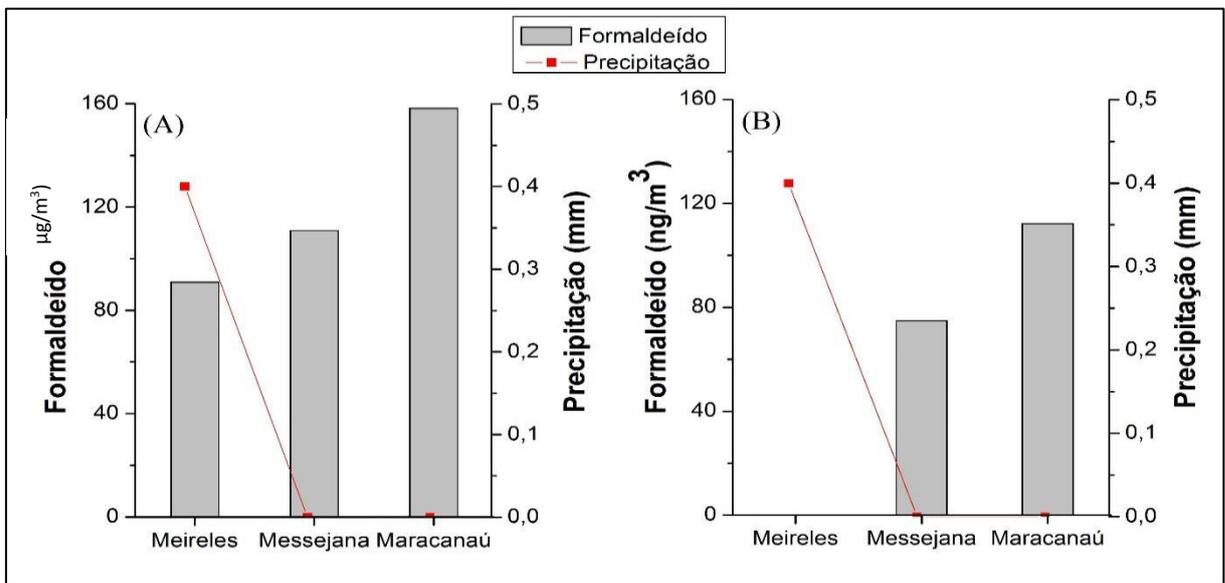
Fonte: A autora.

Os gráficos abaixo (37 a 40) revelam a relação dos elementos climáticos (precipitação e vento) com as concentrações de poluentes, no período seso. É válido ressaltar que o ano de 2015 configurou-se como o quinto ano consecutivo de seca no Ceará. Tal situação vem sendo potencializada pelas seguidas ocorrências de El Niño e TSM do Atlântico Sul mais frias em relação às do Atlântico Norte, acarretando em pouca chuva, mesmo na quadra chuvosa. A nebulosidade trazida pela ZCIT, sem chuva, provavelmente, configurou-se como uma

“barreira”, dificultando a dispersão dos poluentes, o que possivelmente contribuiu, junto com o maior fluxo de veículos, nesse período, para uma maior concentração de CCs na área de estudo.

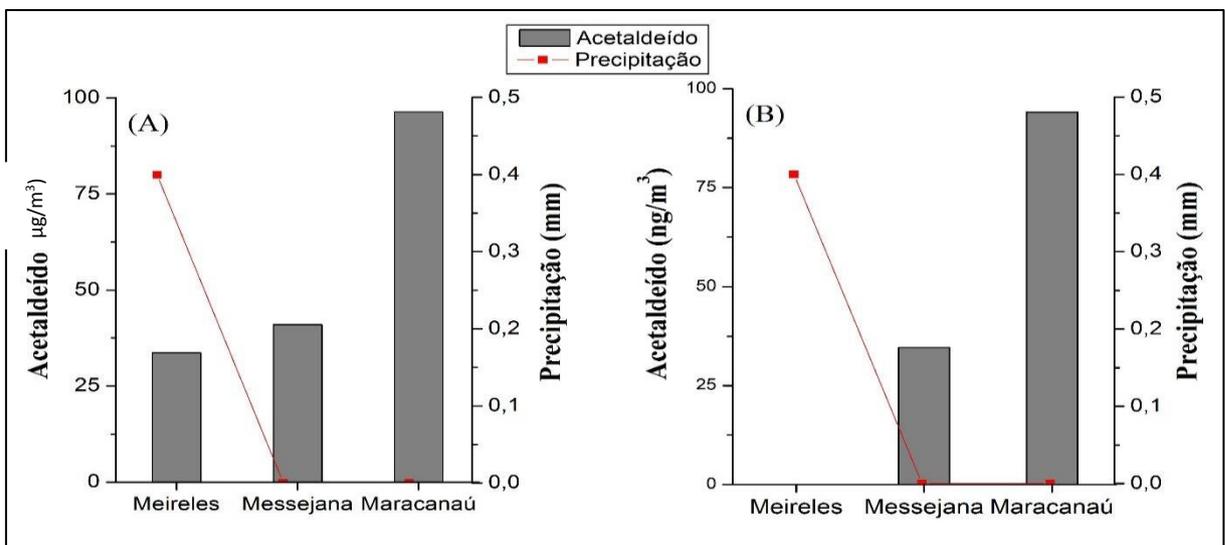
O MPR, por sua vez, apresentou-se de maneira inversa ao resultado dos CCs, pois foi no período seco que as maiores concentrações foram detectadas (GRÁFICO 40), provavelmente em função da re-suspensão particulado, facilitado pela maior velocidade dos ventos, no PS, bem como descreveu Oke (1978).

Gráfico 38 – Relação entre Precipitação e Formaldeído (A) Semana (B) Domingo – PS



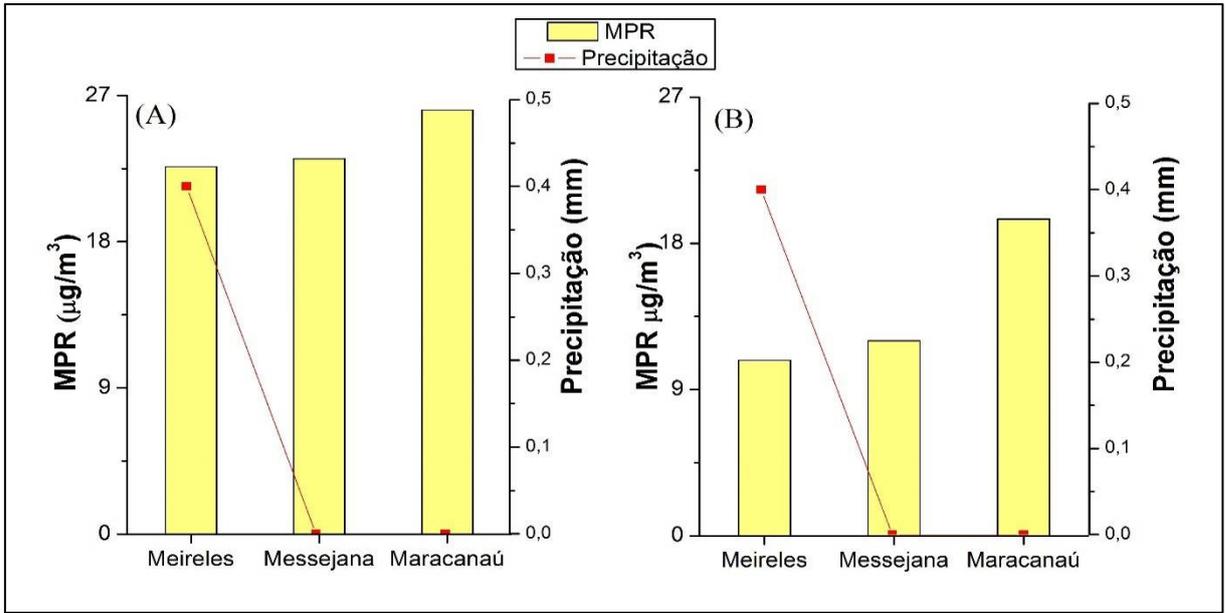
Fonte: A autora.

Gráfico 39 – Relação entre Precipitação e Acetaldeído (A) Semana (B) Domingo – PS



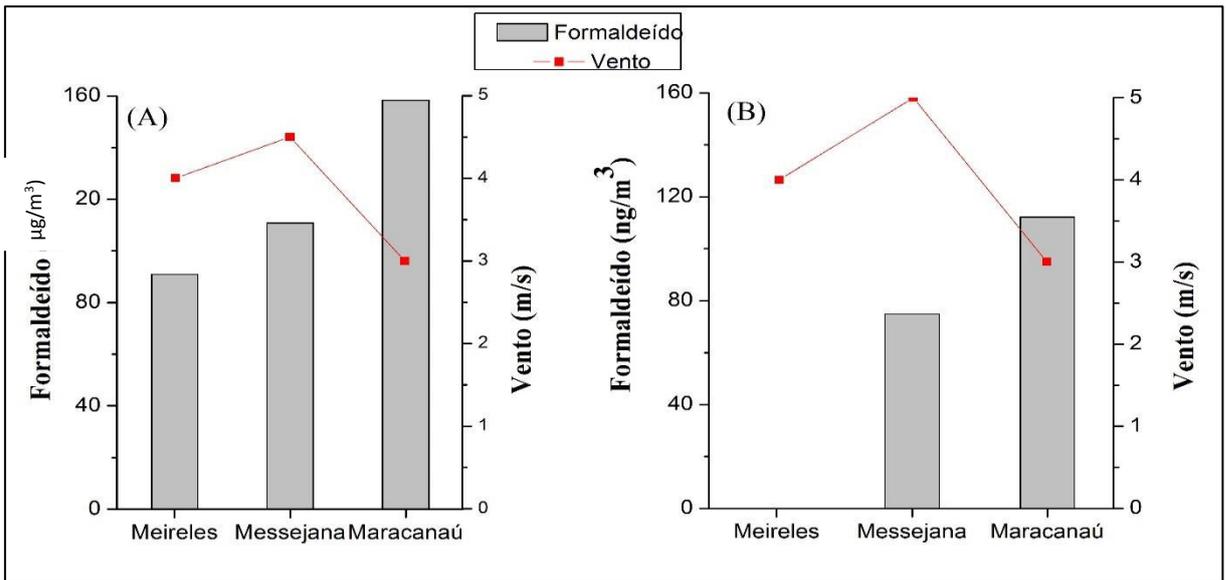
Fonte: A autora.

Gráfico 40 – Relação entre Precipitação e MPR (A) Semana (B) Domingo – PS



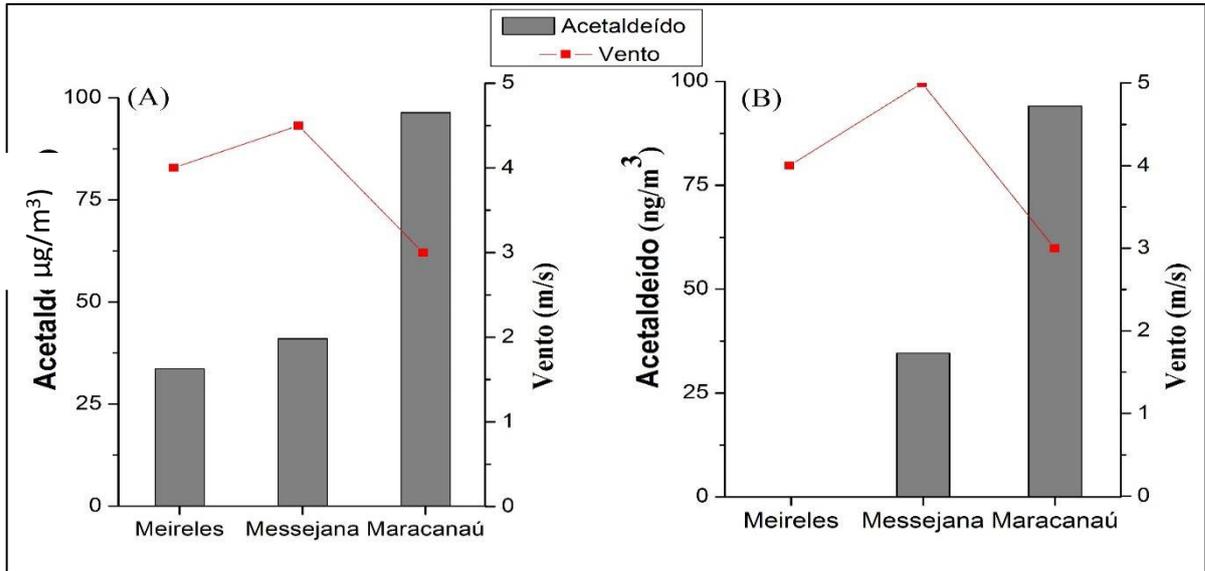
Fonte: A autora.

Gráfico 41 – Relação entre Vento e Formaldeído (A) Semana (B) Domingo – PS



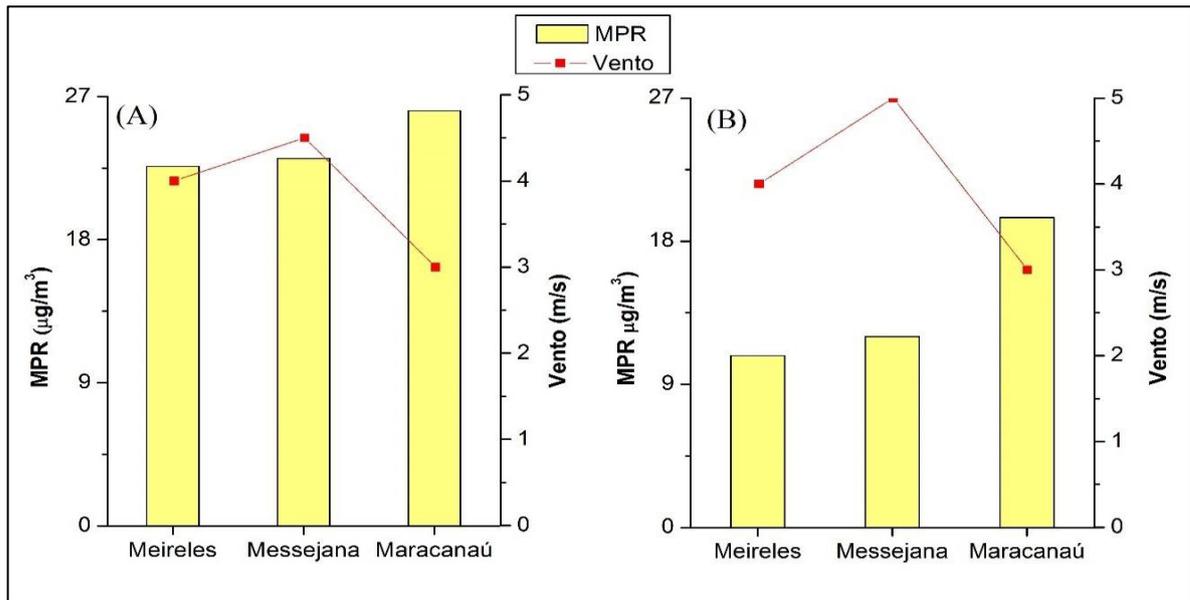
Fonte: A autora.

Gráfico 42 – Relação entre Vento e Acetaldeído (A) Semana (B) Domingo – Período Seco



Fonte: A autora.

Gráfico 43 – Relação entre Vento e MPR (A) Semana (B) Domingo – PS



Fonte: A autora.

Dentre as três áreas de estudo, o Distrito Industrial de Maracanaú apresentou as mais altas concentrações. Ressalta-se, portanto, a importância de se buscar soluções para os efeitos nocivos à população dessa área, oriundos das emissões industriais. Os empresários e gestores municipais precisam ter discernimento e bom senso para entender que a saúde, o bem-estar e a qualidade de vida da população estão acima de qualquer questão política ou econômica.

Apesar das concentrações detectadas não terem ultrapassado os limites das agências quanto ao risco de câncer, é preciso que a população da RMF compreenda que os efeitos da exposição sentidos pelos receptores dependem essencialmente não só das concentrações dos poluentes, mas também do tempo de exposição, podendo, por exemplo, exposições prolongadas a concentrações baixas de poluentes atmosféricos serem mais nocivas do que exposições de curta duração a concentrações elevadas.

Também é importante considerar que a distribuição das concentrações de poluentes na atmosfera depende das condições de emissão e das condições meteorológicas, podendo alguns poluentes ser transportados a grandes distâncias antes de atingirem o nível do solo. Cabe, portanto, aos órgãos de fiscalização mais atenção, pois a tendência é que esses níveis aumentem e tragam prejuízos ao longo da vida, uma vez que a sociedade está exposta a tais poluentes.

Existem, ainda, fatores de sensibilidade nos indivíduos que determinam a maior ou menor severidade dos efeitos, tais como idade, estado nutricional, condição física ou mesmo predisposições genéticas, o que torna necessária a avaliação para diferentes grupos de risco. Os poluentes atmosféricos podem ser particularmente nocivos para crianças, idosos, grávidas e indivíduos que sofram de problemas respiratórios e cardíacos. Portanto, é importante destacar, no tocante ao risco de câncer, que vários são os aspectos e fatores que devem ser considerados na análise dessa doença, mas perceber a influência de fatores ambientais, com certeza, endossa as buscas pelo entendimento das relações entre clima, qualidade do ar e saúde

Durante as coletas do período chuvoso, houve um maior fluxo de veículos nas áreas de estudo, embora a diferença tenha sido pequena, possivelmente há alguma razão para a maior quantidade de Compostos Carbonílicos detectados ter ocorrido nesse período. Apesar dos níveis de acetaldeído e acroleína detectados não ultrapassarem o limite permitido pelas agências regulamentadoras, a exposição a esses compostos também gera efeitos nocivos à saúde humana, desde problemas de intoxicação ao próprio risco de câncer, como têm apontado os estudos mais recentes, como os de Rocha (2014) e Cavalcante (2011).

As maiores concentrações de CCs foram sempre verificadas durante o dia, se comparadas com as da noite, possivelmente em função da transformação fotoquímica que ocorre durante o dia, a qual transforma os poluentes primários em secundários. E também por causa do maior fluxo de veículos e atividades industriais diurnas. Vale ressaltar que a maior quantidade de automóveis que circula pelas ruas e avenidas da Região Metropolitana de Fortaleza ocorre durante a semana. Destaca-se, ainda, que a maior frota de veículos que circulam por essa área é do Ciclo Otto, sendo a minoria do Ciclo Diesel.

O bairro Messejana, apesar de ter um fluxo de veículos inferior ao do bairro Meireles, revelou-se como a área de estudo mais poluída. Tal diagnóstico revela a importância dos ventos e da turbulência térmica, responsáveis pela maior dispersão dos poluentes evidenciada no bairro Meireles, no qual as brisas foram imprescindíveis para a amenização da poluição atmosférica. No entanto, é preciso investigar para onde estão sendo levados, em função da direção dos ventos, os poluentes que são lançados nesse bairro.

CAPÍTULO 7

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na Região Metropolitana de Fortaleza, sobretudo em Maracanaú, a problemática acerca da poluição atmosférica envolve uma série de questões políticas, econômicas e sociais, dentre as quais merecem destaque os conflitos de interesses entre a iniciativa privada, o poder público e a população local. A RMF não conta com programas específicos de controle de emissões de gases de suas indústrias, e a fiscalização por parte dos órgãos de fomento ambiental tem se mostrado débil, pois inexistem equipamentos ou mesmo uma estação de monitoramento da qualidade do ar na região.

As muitas dificuldades logísticas e de falta de dados sobre a concentração de poluentes dificultou uma análise mais minuciosa da qualidade do ar da RMF. Os últimos registros acerca da qualidade do ar nessa região foram realizados pela SEMACE, no ano de 2006. Após essa data, as estações que eram mantidas por essa superintendência foram desativadas, com a promessa de aquisição de novos equipamentos, o que ainda não se cumpriu. Torna-se, assim, evidente a implantação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar na RMF. Para tanto, é necessário mais recurso e interesse por parte dos órgãos ambientais competentes.

Apesar das dificuldades apontadas acima, a realização desta pesquisa foi possível graças a um modesto equipamento de monitoramento da qualidade do ar, desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal do Ceará (UFC). A utilização desse equipamento, denominado “amostrador do ar”, mostrou-se confiável e, portanto, o procedimento técnico-metodológico adotado neste estudo é recomendado para outros de mesma natureza.

Como proposta mitigadora para as elevadas emissões veiculares que ocorrem em Fortaleza, que atualmente está entre as dez cidades com a maior frota de veículos automotores do Brasil, e para sanar os efeitos deletérios à saúde e bem-estar da população, que reside no Distrito Industrial de Maracanaú, oriundos das emissões industriais, sugere-se:

- ❖ maior utilização dos transportes públicos, uma vez que estudos como o de Azevedo Filho (2014) apontam que o uso dos mesmos geraria uma mobilidade urbana mais sustentável;
- ❖ descentralização das fábricas, mais fiscalização e mais equipamentos de monitoramento, para uma efetiva mensuração e compreensão dos efeitos ocasionados pela emissão de poluentes industriais;

- ❖ realização de estudos semelhantes a esta pesquisa;
- ❖ conscientização da sociedade quanto aos problemas ambientais da RMF, através da efetivação de programas permanentes de educação ambiental;
- ❖ iniciativa do governo para ativação de políticas de monitoramento, fiscalização e controle das fontes de emissão fixas;
- ❖ estudo completo sobre o clima urbano de Fortaleza e sua região metropolitana, envolvendo todos os canais de percepção do SCU (conforto térmico, qualidade do ar e impactos meteóricos).

Compreende-se, por fim, que esta pesquisa possa contribuir para um possível gerenciamento da qualidade do ar da área de estudo, tão pouco conhecida, mas de fundamental importância para a saúde e bem-estar da população.

REFERÊNCIAS

- AHMED F. E. Toxicology and human health effects following exposure to oxygenated or reformulated gasoline. **Toxicology Letters**, v.123, p. 89-113, 2001.
- ALMEIDA, I.T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. 186f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999.
- ALMEIDA, L. Q. de. **Análise Geoambiental como subsídio ao planejamento territorial do município de Maracanaú, CE**. 2005. Dissertação. (Mestrado Acadêmico em Geografia), Universidade Federal do Ceará, 2005.
- ALVES, J. M. B; REPELLI, C. A. **A variabilidade pluviométrica no setor norte do nordeste e os eventos el nino-oscilação sul (ENOS)**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.7, n. 2, p. 583-592, 1992.
- ANDRADE, H. **O clima urbano: natureza, escalas de análise e aplicabilidade**. Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia, XL (80), 2005. p. 67 – 91.
- ANDRADE, J. B. de; PINHEIRO, H. L. C.; ANDRADE, M. V.. The formaldehyde and acetaldehyde content of atmospheric aerosol. **J. Braz. Chem. Soc.**, Salvador, v. 6, n. 3, p.287-290, 2 nov. 1995.
- ANDRADE, M.V. A. S. de. **Oxidantes fotoquímicos no ar: Compostos carbonílicos, ozônio e PAN**. 194 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Departamento de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001.
- ANDRADE, Marta Valéria Almeida Santana de *et al.* COMPOSTOS CARBONÍLICOS ATMOSFÉRICOS: FONTES, REATIVIDADE, NÍVEIS DE CONCENTRAÇÃO E EFEITOS TOXICOLÓGICOS. **Química Nova**, Bahia, v. 25, n. 6, p.1117-1131, 2002.
- ARAÚJO, L. F. P; ARAÚJO, M. R. S; FARIAS, M.K. **Avaliação da Qualidade do ar de Fortaleza e Região Metropolitana no período de 1993-1999**. In: Congresso Brasileiro de Meio Ambiente, 2000, Fortaleza. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belém: Núcleo de Eventos Técnicos e Aperfeiçoamento, 2000.
- ARESKOUG, H. Particles in the ambient atmosphere. **Scand J Work Environ & Health**, 2000;1(26 Suppl.): 5–22.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 11a ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 2006.
- AZEVEDO, J. M. F. **A influência das variáveis ambientais (meteorológicas e de qualidade do ar) na morbidade respiratória e cardiovascular na Área Metropolitana do Porto. 2010**. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas) - Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

- AZEVEDO FILHO, M. A. N. **Análise do processo de planejamento dos transportes como contribuição para a mobilidade urbana sustentável.** Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012, p. 190.
- BAGIENSKI, Z., 2015. Traffic air quality index. **Science of the Total Environment** 505. 606-614.
- BAKONYI, S. M. C. **Fatores socioeconômicos e ambientais e doenças respiratórias em Curitiba/PR. 2009.** Tese (Doutorado em geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, 2009
- BARBOSA, A.L.B. **Análise comparativa do ar no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1984 e 1988.** Rio de Janeiro. Monografia. Departamento de Geografia – UFRJ, abril, 1997.
- BARBOSA, M. A. et al. **Hospital Municipal de Maracanaú: reflexo das políticas nacionais de saúde em meio século de história.** Brasília: Ministério da saúde, 2004.
- BARROS, J. R. **Tipos de tempo e incidência de doenças respiratórias: um estudo geográfico aplicado ao Distrito Federal.** Rio Claro, 2006. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.
- BECKETT, K.P., FREER-SMITH, P.H., TAYLOR, G., 2000. Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. **Global Change Biology** 6 (8), 995e1003.
- BENICIO, M. H. D'A. et al. Tendência secular da doença respiratória na infância na cidade de São Paulo (1984-1996). **Rev. Saúde Pública**, v. 34, p. 91-101, 2000.
- BERNAL, M. C. C. **A Metrópole Emergente: a ação do capital imobiliário na estruturação urbana de Fortaleza.** Fortaleza: Editora UFC / Banco do Nordeste do Brasil S.A., 2004.
- BOÇON, F. T. **Modelagem matemática do escoamento e da dispersão de poluentes na microescala atmosférica.** 308f. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
- BÖM, G. M. et al. Biological effects of air pollution in São Paulo and Cubatão. **Environ. Res.**, v. 49, p. 208-216, 1989.
- BOTELHO, C. et al. **Fatores ambientais e hospitalizações em crianças menores de cinco anos com infecção respiratória aguda.** Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 19, n. 6, 2003.
- BRANDÃO, R. L. et al. Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza. Fortaleza: Projeto SINFOR/CPRM, 1995.
- BRANDÃO, A. M. de P. M.; RUSSO, P. R. **Qualidade do ar e Saúde Pública: uma contribuição Metodológica.** In: V Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Curitiba, 2002. CD ROM.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental** o desafio do desenvolvimento sustentável. Pearson, cidade 2ª ed, p.336, 2005.

BRAGA, A. L.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. do N. **Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana**. In: Sustentabilidade na Geração e Uso de Energia no Brasil: os próximos vinte anos, Campinas, 2002.

BRASIL. Constituição (1986). Resolução nº03, de 28 de junho de 1990. **Conama**. Brasília, 22 agos. 1990. Seção 1, p. 15937-15939.

BRASIL. Constituição (1986). Resolução nº08, de 06 de dezembro de 1990. **Conama**. Brasília, 28 dez. 1990. Seção 1, p. 25539

BRASIL. Constituição (1986). Resolução nº18, de 06 de maio de 1986. **Conama**.

BRASIL. Constituição (1986). Resolução nº272, de 14 de setembro de 2000. **Conama**. Brasília, 10 jan. 2001. n. 247, Seção 1, 24p.

BRASIL. Constituição (1990). Resolução nº 001, de 08 de março de 1990. **Conama**: NBR 10151. Seção 1, p. 6408.

BRASIL. Constituição (1997). Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997.

BRASIL. Constituição (1986). Resolução nº315, de 29 de outubro de 2002. **Conama**. Brasília, 20 nov. 2002. n. 224, Seção 1, p. 90-92.

BRASIL. Constituição (1986). Resolução nº403, de 11 de novembro de 2008. **Conama**. Brasília, 12 nov. 2008. n. 220, Seção 1, p. 92.

BRASIL. Constituição (1986). Resolução nº415, de 24 de setembro de 2009. **Conama**. Brasília, 25 set. 2009. n.184, Seção 1, p. 53-54

BRASIL. Constituição (1986). Resolução nº418, de 25 de novembro de 2009. **Conama**. Brasília, 26 nov. 2009. n. 226, Seção 1, p. 81-84

BUCCOLIERI, R., SALIM, S.M., LEO, L.S., DI SABATINO, S., CHAN, A., IELPO, P., DE GENNARO, G., GROMKE, C., 2011. Analysis of local scale tree-atmosphere interaction on pollutant concentration in idealized street canyons and application to a real urban junction. **Atmospheric Environment** 45 (9), 1702e1713.

CAJAZEIRA, A, de. A. **Geografia, ambiente e saúde: correlações entre o clima e a incidência de doenças respiratórias em Maracanaú/CE**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

CARDOSO, A. A.; PEREIRA, E. A. Importância e determinação de formaldeído no ar – uma revisão. **Anais da Associação Brasileira de Química**, v. 48, n. 1, p. 63- 69, 1999.

CARLOS, A. F. A. **O lugar no/do mundo**. São Paulo: FFLCH, 2007, 85p.

CARVALHO, A. B. de. **Compostos carbonílicos no ar em ambientes de trabalho de carvoarias na Bahia**. 284 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Departamento de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

CARVALHO, K. B. de. **Territórios produtivos: estudo geográfico do I Distrito Industrial do Ceará**. 2009. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2009

CASTILHO, F. J. V. **Abordagem geográfica do clima urbano e das enfermidades em São José do Rio Preto/SP**. Rio Claro, 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2006.

CASTRO, A. **Clima urbano e saúde: as patologias do aparelho respiratório associadas aos tipos de tempo no inverno, em Rio Claro-SP**. 2000. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

CAVALCANTE, R. M.; et al. Exposure Assessment for Formaldehyde and Acetaldehyde in the Workplace. **Indoor And Built Environment**, Fortaleza, v. 14, n. 2, p.165-172, 17 set. 2005.

CAVALCANTE, R.M.; et alF. **Determination of carbonyl compounds in air and cancer risk assessment in an academic institute in Fortaleza, Brazil**. **Atmospheric Environment**, Fortaleza, n. 40, p.5701-5711, 13 abr. 2006.

CAVALCANTE, R. M.; et al. **Influence of urban activities on polycyclic aromatic hydrocarbons in precipitation: Distribution, sources and depositional flux in a developing metropolis, Fortaleza, Brazil**. *Science of the Total Environment*, v. 414, p. 287-292, 2011.

CARDOSO, A. A.; PEREIRA, E. A. Importância e determinação de formaldeído no ar – uma revisão. **Anais da Associação Brasileira de Química**, v. 48, n. 1, p. 63- 69, 1999.

Centro de Treinamento e Desenvolvimento CETREDE. **Distrito Industrial: fator de expansão urbana: Curso de Desenvolvimento Urbano e Regional**, 1984.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/municipios/chuvas-diarias>. Acesso em 13 de setembro de 2016.

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em 06 maio de 2015.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB, **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo – 1995**. São Paulo, 1996, 78p.
COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB), 2000, **Monitoramento da qualidade do ar no município de Araraquara/SP. Comparação entre os períodos de safra e entressafra de cana de açúcar**, 52 p

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB, **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo – 2012**. São Paulo, 2013.

CONCEIÇÃO, C. L. da . **Relações entre elementos climáticos e as doenças do aparelho respiratório no Rio Grande do Sul**. 2003. Dissertação (Mestrado em geografia) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

COSTA, M. C. L. **Fortaleza: expansão urbana e organização do espaço**. In: SILVA, José Borzacchiello et al. Ceará: um novo olhar geográfico. Fortaleza: Fundação Demócrito Rocha, 2005.

COSTA, M. C. L. Fortaleza, capital do Ceará: transformações no espaço urbano ao longo do século XIX. **Revista do Instituto do Ceará**, Fortaleza, v. 128, n. 3, p.81-112, 2014. Disponível em: <http://www.institutodoceara.org.br/revista/Rev-apresentacao/RevPorAno/2014/03_FortalezacapitaldoCeara.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2016.

CUNHA, A.P. da. **A qualidade do ar do Rio de Janeiro no período de 1990-95**. Monografia. Rio de Janeiro. Departamento de Geografia-UFRJ, julho, 1997.

D'AMATO, G. *et al.* **On the interrelationship between outdoor air pollution and respiratory allergy**. *Aerobiologia*, [S.l.], n. 16, p.1-6, 9 set. 2000.

DANNI-OLIVEIRA, I M. Aspectos térmicos do Centro de Curitiba-PR. In: **Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**. Resumos. Rio Claro, UNESCO, 1992, p.43.

DANNI-OLIVEIRA, I M. **A cidade de Curitiba/PR e a poluição do ar-implicações de seus atributos urbanos e geocológicos na dispersão de poluentes em período de inverno**. 1999. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

DANNI-OLIVEIRA, I M. A cidade de Curitiba/PR e a poluição do ar.. In: Carlos Augusto F. Monteiro; Francisco Mendonça. (Org.). **Clima Urbano**. 1ed.São Paulo: Contexto, 2003, v. 1, p. 155-174.

DANNI-OLIVEIRA, I M; et al. **Poluição e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba/pr**. *Revista de Saúde Pública / Journal of Public Health JCR*, SÃO PAULO, v. 38, n.5, 2004.

DANNI-OLIVEIRA, I M. **Poluição do ar como causa de morbidade e mortalidade da população urbana**. *RA' EGA (UFPR)*, v. 15, p. 111-124, 2009.

DANTAS, E.W.C; COSTA, M. C. **Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza: Edições UFC, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN) 2015. **Frota por município e tipo de veículo**. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota2015.htm>. Acessado em: 15/01/2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). **Tráfego e Meio Ambiente**. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2015

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN) 2015. **Frota por município e tipo de veículo**. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota2015.htm>. Acessado em: 15/09/2016.

DIAS, S. D. de A. **O processo de urbanização e metropolização de Fortaleza: A constituição histórica de uma cidade desigual**. In. Encontro Nacional de Geógrafos (ENG). Belo Horizonte - MG. 2012. Anais.

FERREIRA, A.G; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influencia dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol 1, nº 1. 15-28, 2005.

FREITAS, L. C. L.; PAIVA, J. P. M. **Contrastes Térmicos e Higrométricos na Região Metropolitana de Fortaleza/CE**. Revista Geonorte, v. 6, p. 41-61, 2016.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Naturais. Dados das estações pluviométricas de Fortaleza ,anos de 1983 a 2016.

_____. **Diagnóstico geoambiental e de recursos naturais para a definição de áreas semi-áridas no município de Maracanaú – CE**. Fortaleza, 1993.

_____. **Sistemas meteorológicos causadores de chuvas na região nordeste do Brasil – Boletim especial**, 2006. Disponível em <http://www.funceme.com.br>. Acesso em 20 mar. 2015.

_____. **Atlas Solarimétrico do Ceará 1963 – 2008**. 2011. Disponível em: < http://www.adece.ce.gov.br/phocadownload/Energia/atlas_solarimetrico%20ceara_2011.pdf > Acesso em : 08 jul. 2015.

GALLEGO, L.P. **Tipos de tempo e poluição atmosférica no Rio de Janeiro – um ensaio em climatologia urbana**. Tese (doutorado) São Paulo, Universidade de São Paulo, FFLCH, 1972, p.104.

GAN, M.A.; KOURSKY, V.E. Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta trposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil. **INPE**, São José dos campos, 1982.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor - como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

GILMOUR, M. I. et al. Air pollutant-enhanced respiratory disease in experimental animals. **Environ. Health Perspect.**, v. 109, p. 619-622, 2001.

GOMES, A. C. S. et al. Clima e doença: análise dos elementos meteorológicos e infecções respiratórias agudas nas capitais do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 5, p. 1069-1061, set. 2013.

GOMES, M. J. M. Ambiente e pulmão. **Jornal de Pneumologia**, Brasília, v. 28, n. 5, p. 261-269, set./out. 2002.

GRIMM, A. M. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. de A. (org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

GROSJEAN, E. *et al.* Air Quality Model Evaluation Data for Organics. 2. C1–C14 Carbonyls in Los Angeles Air. **Environ. Sci. Technol.**, Los Angeles, v. 9, n. 10, p.2687-2703, 27 ago. 1996.

GUTAROWSKA B., JAKUBOWSKA A. The estimation of moulds air pollution in university settings. In: **PROBLEMS OF INDOOR AIR QUALITY IN POLAND**. Anais eletrônicos... ed. T. Jędrzejewska-Ścibak, J. Sowa, Publishing House of Warsaw University of Technology. 2001. p. 103-112.

IARC – Internacional Agency for Research on Cancer. The Iarc Monographs Series. **Overall Evaluations of carcinogenicity to Humans**. Disponível em: <http://www.iarc.fr/>. Acesso em: 05 nov. 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações completas sobre Fortaleza**. 2014. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=230440&search=cearalfortalezalinfograficos:-informacoes-completas>>. Acesso em: 02 mar. 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações completas sobre Fortaleza**. 2014. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=230440&search=cearalfortalezalinfograficos:-informacoes-completas>>. Acesso em: 20 de jun. 2016

IPECE. Perfil básico municipal. Fortaleza: IPECE, 2010. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/index_perfil_basico.htm. Acesso em 04 abr. 2015.

JESUS, E. F. R. de. **Interface entre a Climatologia e a Epidemiologia**: uma abordagem Geográfica. Revista GeoTextos, vol. 6, n. 2, 2010.

KAMPA, M.; CASTANAS, E. Human health effects of air pollution. **Environmental Pollution**, 2007, p. 1-6.

KAUR, S.; NIEUWENHUIJSEN, M.J.; COLVILE, R.N.. Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations in urban street transport microenvironments. **Atmospheric Environment**, [S.l.], n. 41, p.4781-4810, 5 fev. 2007.

KIRCHHOFF, V. W. J. H; MOTTA, A. G. Medidas de ozônio na troposfera e estratosfera de Natal. In: **Revista Brasileira de Geofísica**, 1983, v. 2, p. 25-30.

KUWATA, K. *et al.* Determination of aliphatic aldehydes in air by liquid chromatography. **Anal. Chem.**, [S.l.], v. 12, n. 55, p.2013-2016, out. 1983.

LACAZ, C.S.; BARUZZI, R.G.; SIQUEIRA JR., W. **Introdução à Geografia Médica do Brasil**. São Paulo: Edusp/Edgard Blucher, 1972.

LANDSBERG, H. E. O clima das cidades. In: **Revista do Departamento de Geografia USP**, São Paulo, n.18, p. 95 – 111, 2006. Traduzido por Tairk Rezende de Azevedo.

LANDSBERG, H. **The urban climate**. New York, Academic Press, 1981, 276p.

LA ROVERE, E.L. Energia e meio ambiente. In: **Meio ambiente. Aspectos técnicos e econômicos**. Brasília, IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Sérgio Margulis, 1996, cap. 1, 238 p.

LIN, C. A. et al. Air pollution and respiratory illness of children in São Paulo, Brazil. **Paediatr. Perinat. Epidemiol.**, v. 13, p. 475-488, 1999.

LODGE JUNIOR, J. P. **Methods of air sampling and analysis**. 3. ed. Florida: Lewis Publishers, 1988. 784 p.

MAGALHÃES, G. B.; ZANELLA, M. E. **Comportamento espacial da dengue e sua relação com o clima na Região Metropolitana de Fortaleza**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 12, p. 114-135, 2013.

MAGE, D. et al. Urban air pollution in megacities of the world. In: **Atmospheric Environment**, Great Britain, Pergamon Press, 1996, v.30, n° 5, 681p.

MAIA, A. C. L.; Azevedo Filho, M.A.N.; RODRIGUES DA SILVA, A. N. **A contribuição do transporte público para a mobilidade urbana sustentável: o caso de Fortaleza e sua região metropolitana**. Revista dos transportes Públicos, v. 1, p.93-108, 2014.

MARACANAÚ, P. M. de.. **Diagnóstico social do Município de Maracanaú**: mapeamento preliminar das vulnerabilidades e riscos sociais. Secretaria de Assistência Social e Cidadania, Maracanaú, 2005.

MARACANAÚ, P. M. de. **Programa de atração de empresas da Prefeitura**. Disponível em: < <http://www.maracanau.ce.gov.br/programa-de-atracao-de-empresas-da-Prefeitura> >. Acesso em 25 de março de 2012.

MARTINS, L. C. et al. Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. **Rev. Saúde Pública**, v. 36, p. 88-94, 2002.

MARQUES, R.; SANTOS, E. S. Redes de monitoramento de material particulado inalável, legislação e os riscos à saúde. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, Mato Grosso, v. 14, n. 8, p.115-128, 22 jun. 2012.

MAZETTO, F. de A. P. Pioneiros da geografia da Saúde. Séculos XVIII, XIX e XX. In: BARCELLOS, C. **A Geografia e o contexto dos problemas de saúde**. Rio de Janeiro: ABRASCO, 2008

MELLO, Kelen Berra de. **Simulação da dispersão de poluentes na camada limite planetária através da solução da equação de Langevin pelo método de decomposição**. 92f. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MELO, A. B. C. de; CAVALCANTI, I. F. de A.; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. de A. (org.) **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MENG, Z.Y. *et al.* Characteristics and sources of PM_{2.5} and carbonaceous species during winter in Taiyuan, China. **Atmospheric Environment**, Taiwan, n. 41, p.6901-6908, 22 jul. 2007.

MENDONÇA, F. **Clima e Criminalidade**: ensaio analítico da correlação entre a temperatura do ar e a incidência da criminalidade urbana. Curitiba: UFPR, 2001.

MENDONÇA, F. **Aspectos da interação clima – ambiente – saúde humana**: da relação sociedade-natureza à (in) sustentabilidade ambiental. RA'E GA – O Espaço Geográfico em Análise, Curitiba, v. 4, n. 4, p. 85-100, 2000

MENDONÇA, F. O clima e planejamento urbano em Londrina. **Clima Urbano**. Org. MONTEIRO, C. A. de F; MENDONÇA, F. São Paulo: Contexto, 2003.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de texto, 2007.

MILANO, M. S.; DALCIN, E. C. **Arborização de vias públicas**. **Light**, Rio de Janeiro, 131 p. 2000.

MILLER JUNIOR, G. T. **Ciência Ambiental**. 11. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 592 p.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE). **NR-9 - Programa de prevenção de riscos ambientais**, 1978. Disponível em: <
http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_09_at.pdf >
Acesso em: 02 fev. 2015.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE). **NR-15 – Atividades e operações insalubres**, 1978. Disponível em: <
http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15_at.pdf >
Acesso em: 16 jan. 2015.

MOLION, L. L. C. B.; BERNARDO, S. O. **Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.17, n.1, p. 1-10, 2002.

MONTEIRO, A. **A asma, uma patologia agravada pela intensificação dos processos de urbanização**. Estudo de caso em crianças ate 13 anos, na Área Metropolitana do Porto. Actas da 6ª Conferencia Nacional sobre a Qualidade do Ambiente, Lisboa, 1999.

MONTEIRO, C. A. de F. **Análise Rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho**. Série Climatologia nº1. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1971.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGOG/USP, 1976. 54p. (Série Teses e Monografias).

MONTEIRO, C. A. de F. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação. In: **Anais do Simpósio sobre Comunidades Vegetais como Unidades Biológicas, Faunísticas e Econômica**. São Paulo, Secretaria de Cultura, Ciência e Tecnologia – ACIESP. Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1978, nº 15, p. 43-75.

MONTEIRO, C. A. de F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Revista Geosul**, v. 9, Florianópolis, 1990.

MONTEIRO, C. A. de F. A cidade como processo derivador ambiental e a geração de um clima urbano: estratégias na abordagem geográfica. **Revista Geosul**, v.9, Florianópolis, 1990.

MONTEIRO, C. A. de F. A asma, uma patologia agravada pela intensificação dos processos de urbanização. Estudo de caso em crianças até 13 anos, na Área Metropolitana do Porto. Actas da 6ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente, Lisboa, 1999

MONTEIRO, C. A. de F; MENDONÇA, F. (Orgs). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTEIRO, C. A. de F; MENDONÇA, F; ZAVATTINI, J. A.; NETO, J. L. S. A **Construção da Climatologia Geográfica no Brasil**. Campinas: Alínea, 2015.

MORATO, Rúbia Gomes *et al.* Geografia da desigualdade ambiental na Subprefeitura de Campo Limpo, município de São Paulo/SP. In: **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abr/2005, INPE. p. 2281-2288.

MOURA, M.O. **Os microclimas urbanos de Fortaleza: ritmos episódios em duas áreas representativas da cidade**. Relatório de graduação em Geografia. Fortaleza: Departamento de Geografia UFC, 2006, 168p.

MOUVIER, Gerard. **A poluição atmosférica**. Lisboa: Instituto Piaget, 1995

MUKAI, H; SUZUKI, M. Using air trajectories to analyse the seasonal variation of aerosol transported to the Oki Islands. In: **Atmospheric Environment**. Great Britain, Pergamon Press, 1996, v. 30, nº 3, p. 3917 – 3934.

MURGEL, E.M; SZWARC, A. Efeito das condições de tráfego na emissão de poluentes por veículos leves. São Paulo. **CETESB** – Divisão de Programas de Redução de Poluição Veicular. S.d, separata, 11p, 1989.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **Pocket guide to chemical hazards for formaldehyde**. 2010. Atlanta.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **Hydrocarbons and Aromatic method 1501**. Method for determination of Hydrocarbons and Aromatics in ambient using CSC adsorb adsorption and gas chromatography/FID. 2003. Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth edition. N.94-113, 3, p. 3-7.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1989

NÓBREGA, R. S. *et al.* **O fenômeno El Niño e a Influência Conjunta do Dipolo do Atlântico no Estado do Ceará.** In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2000.

OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES. **Evolução da frota de automóveis e motos no Brasil (2001 – 2012).** Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro, 2003
Disponível em: www.observatoriodasmetrolopoles.net. Acesso em 28 de setembro de 2016
OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (OSHA). **Fact Sheets Highlighting Program.** 2002. US Department of Labor. Formaldehyde (29 CFR—1910.1048) and Acetaldehyde (29 CFR—1910.1000).

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (OSHA). **Final rule amending formaldehyde standard in response to federal court of appeals ruling.** 2009. Washington: U.S. Government.

OLIVEIRA, S. FERRARI, C. Estudo sobre a influência de parâmetros meteorológicos críticos para a formação de oxidantes fotoquímicos. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.** Alagoas, 1985, 12p.

OKE, T.R. **Boundary layer climates.** Routledge, 2a Ed , UK. 434p, 1987.

PEIXOTO, A. Clima e Saúde: introdução bio - geográfica à civilização brasileira. Rio de Janeiro: Companhia Editorial Nacional, 1938.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: agropecuária, 2002, 478p.

PEREIRA, L. A. A. et al. Association between air pollution and intrauterine mortality in São Paulo, Brazil. **Environ. Health Perspect.**, v. 106, p. 325-329, 1998.

PINTO, J. P. **Formaldeído e acetaldeído na atmosfera urbana e rural da cidade de Londrina-Paraná.** 70 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2002.

POINTING, C. **Polindo o mundo.** In: Uma história verde do mundo. Rio de Janeiro, Ed. Civilização Brasileira, 1995, 646 p.

POWER, A.L., WORSLEY, T., BOOTH, C., 2009. **Magneto-biomonitoring of intra-urban spatial variations of particulate matter using tree leaves.** Environ. Geochem. Health 31, 315–325.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANAÚ; Nasser Hissa Arquitetos Associados Ltda. **Documento Básico do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do município de Maracanaú.** Maracanaú, CE, 1998.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 003/90 de 28/06/90, que estabelece os Padrões Primários e Secundários de Qualidade do Ar e ainda os critérios agudos de poluição do ar. In:

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – Resoluções CONAMA 1984/91, 4 ed. Ver. E aum. Brasília, IBAMA, 1992, 245p.

RIBEIRO, C. M. O desenvolvimento da Climatologia dinâmica no Brasil. **Geografia e Ensino**. Belo Horizonte, 1 (2) 48-59, set. 1982.

ROCHA, C. A. **Pressão sonora, sensação térmica, poluição do ar e seus riscos associados como indicadores da qualidade ambiental em áreas usadas para esporte e lazer – fortaleza, ce**. 2014. Monografia (curso de ciências ambientais). Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

ROLIM, G.S; SENTELHAS, P.C. **Programa do Balanço Hídrico**. ESALC – USP. Piracicaba, 2006.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, Edson V. **Educação ambiental e desenvolvimento sustentável**. Fortaleza: Edições UFC, 2009.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 2010.

SAGULA, M. A. L. A. Correlações entre inversões térmicas e material particulado em São Paulo. In: **Anais do 16º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Goiânia, 1991, v. 2, tomo IV 694 p.

SALDIVA, P. H. M. et al. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. **Environ. Res.**, v. 65, p. 210-225, 1994.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004.

SATO, M. I. z. et al. Mutagenicity of airborne particulate organic material from urban and industrial areas of São Paulo, Brazil. **Mutation Res.**, v. 335, p. 317-330, 1995.

SCIFONI, S. **O verde do ABC: reflexões sobre a questão ambiental urbana**. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SEINFELD, J. H. **Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution**. John Wiley & Sons. New York, USA, 1986

SEINFELD, J.H., PANDIS, S. N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution climate change. New York: John Wiley & Sons, 1998. Apud: DUSEK, U. **Secondary organic aerosol formation mechanisms and source contributions in Europe**. Laxenburg Austria: IIASA, 2000. 63p. (IR-00-066).

SEMACE - Superintendência Estadual do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.ceara.gov.br/?secretaria=SEMACE&endereco=http://www.semace.ce.gov.br/?doi_ng_wp_cron=1446750526 . Acesso em: 05 de nov. de 2015.

SEUMA – Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. Disponível em: <http://portal.seuma.fortaleza.ce.gov.br/fortalezaonline/portal/>. Acesso em: 14 de setembro de 2015.

SPIRO, T.G; STIGLIANI, W.M. **Química Ambiental**. 2 ed. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2009.

SETTE, D. M. ; RIBEIRO, H. . **Interações entre o clima, o tempo e a saúde humana**. Revista Interfacehs (Ed. português), v. 6, p. 3, 2011.

SILVA, J.B da, DANTAS, W. V., ZANELLA, M. E., e MEIRELES, A. J. A., (ORG.). **Litoral de Sertão: Natureza e sociedade no Nordeste Brasileiro**. Fortaleza, Expressão Gráfica, 2006 pag. 349-366.

SILVA, J.G. **Controle da Poluição Ambiental**. Livro didático em PDF. 1 ed. Palhoça, Santa Catarina. UnisulVirtual. 2011

SILVA 2007, José Borzacchiello da. A região metropolitana de Fortaleza. In Ceará: um novo olhar geográfico (et al). 2. Ed. Atual – Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007, 480 p.: fot. Color.

SILVA, J. B. da. Características gerais da Região Metropolitana de Fortaleza. DANTAS, E. W. C.; COSTA, M. C. L. (Orgs.). **Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza: Edições UFC, 2009. SOUZA et al, 2009

SOBRAL, H. R. **Heat island in São Paulo, Brazil**: Effects on health. Critical Public Health, v. 15, n. 2, p. 147-156, 2005.

SODRÉ, E. D. *et al.* **Principais Carbonilas no Ar de Locais Públicos no Rio de Janeiro**. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 2, p.249-253, 19 dez. 2008.

SORRE, M. A adaptação ao meio climático e biossocial – geografia psicológica. In: MEGALE, J. F. (Org.). **Max Sorre**. São Paulo: Ática,1984. (Coleção Grandes Cientistas Sociais, 46)

SORRE, M. **Objeto e Método da Climatologia**. Tradução de José Bueno Conti. São Paulo: Revista do Departamento de Geografia, 2006. p. 89-94.

SOUSA, F. W. de. **Estimativa da exposição e risco de câncer a compostos carbonílicos e btex em postos de gasolina na cidade de Fortaleza-CE**. 212 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil-Saneamento Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SOUSA, F. W. de; CAVALCANTE, R. M.; NASCIMENTO, R. F.; CARACAS, I. B. Air quality and cancer risk assessment for carbonyl compounds in the hospitals, Fortaleza-Brazil. **Building and Environment**, v.46, n.11, p. 2115-2120, 2011.

SOUZA, C. G. **A influência do ritmo climático na morbidade respiratória em ambientes urbanos**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente 2007.

SOUZA, C. G. de; SANT'ANNA NETO, J. L. **Distribuição espacial das doenças respiratórias em cidades de porte médio no Oeste Paulista – Brasil: uma análise multicausal como contribuição à melhoria da qualidade de vida urbana.** In: II PLURIS - II Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Braga (Portugal): Universidade do Minho, 2006.

SOUZA, M. N. de. **Compartimentação Geoambiental do Ceará.** In: **Ceará: um novo olhar geográfico** (et al). 2. Ed. Atual – Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007, 480 p.: fot. Color.

STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (Holanda), 1988.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Disponível em <http://www.sudene.gov.br/>. Acesso em: 05 nov. de 2015

TEZA, C.T.V. e BAPTISTA, G.M.M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER *on demand* 08 – *Kinetic Temperature* (III): metrópoles brasileiras. **Anais XII Simpósio Brasileiro de sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3911-3918.**

THE ENGINEERING TOOLBOX. **EPA Protective Noise Levels (USEPA).** Disponível em: <http://www.engineeringtoolbox.com/epa-protective-noise-level-d_720.html>. Acesso em: 12 jan. 2015.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J. R.. The water balance. Publications in Climatology. Centerton, New Jersey v. VIII, p1, 1995.

TRIER, A. **Submicron particles in na urban atmosphere: a study of optical size distribution – I.** In: Atmospheric Environmet, Great Britan, Pergamon Press, 1997, v. 31, nº 6, p. 909-914.

UNILIVRE – UNIVERSIDADE LIVRE DO MEIO AMBINETE. **Programa de atração de industriais ambientais para Região Metropolitana de Curitiba.** Curitiba, Relatório Final de Projeto, 1996.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Air pollution standards.** 2010. Disponível em: <<http://www.epa.gov/airquality/>>. Acesso em: 08 fev. 2015.
U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA): **Exposure factors handbook;** US Government Printing Office. EPA/600/8-89/043. Washington, DC, 1997.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Guidelines for Exposure Assessment.** Office of Research Development, Office of Helath and Enviromental Assessment, EPA 6000Z-92/001. Washington, DC, 1992.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Integrated Risk Information System.** 2004. Disponível em: <<http://www.epa.gov/iris>>. Acesso em: 08 fev. 2015.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Risk assessment guidance for superfund (RAGS) Part A: Chapter 7 (Toxicity assessment) and 8 (Risk characterization)**. 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsa/>>. Acesso em: 08 fev 2014.

VIANA, S.S.M. **Caracterização do Clima Urbano em Teodoro Sampaio/ SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente, 2006. 190p.

XAVIER, T. de Ma. B.S. “Tempo de Chuva” - estudos climáticos e de previsão para o Ceará e o Nordeste Setentrional. Fortaleza: ABC Editora, 2001.

WANG, B., LEE, S.C., HO, K.F. Characteristics of carbonyls: Concentrations and source strengths for indoor and outdoor residential microenvironments in China. **Atmos. Environ., China**, v. 41, 2851-2861, 2007.

WANNER, H. U. Effects of atmospheric pollution on human health. In: J. **Aerosol Science**. Great Britan, Pergamon Press, 1990, v. 21, Suppl 1, p. 389-396.

WILLIAMS, P. L.; JAMES, R. C.; ROBERTS, S. M. **Principles of toxicology Environmental and Industrial** Applications. 2nd Edition, John Wiley & Sons United States of America, 2000.

[WHO] WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for air quality**. Geneva, 2000a. 185p.

WONG, G. W. K; LAI, C. K. W. Outdoor air pollution and asthma. **Current Opinion In Pulmonary Medicine**, [S.l], v. 10, n. 1, p.62-66, jan. 2004.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Air Quality Guidelines: Global Updated**. 2006. Disponível em: <<http://www.wmo.int/pages/prog/www/DPS/Monitoring-home/mon-index.htm>>. Acesso em: 20 fev. 2015.

YU, M. H. **Environment toxicology: biological and health effects of pollutants**. 2nd edition, CRC press, Washignton, DC, p.301, 2004.

ZANELLA, M. E. As características climáticas e os recursos hídricos do Estado do Ceará. In: SILVA, J. B.; DANTAS, E. W.; CAVALCANTE, T. **Ceará: um novo olhar geográfico**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

ZAVATTINI, J.A; BARROS, J.R. Bases conceituais em Climatologia Geográfica. Mercator – **Revista de Geografia da UFC**. Fortaleza, n. 16, 2009. p. 255 – 261.

ZEM, J. M. **Interações entre a temperatura do ar e a incidência de Doenças respiratórias na população infantil da cidade de São José dos Pinhais/PR**. 2004. Dissertação (Mestrado em geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.