

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANDERSON ALEXANDRE BORGES

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE SOFTWARE PARA APOIAR A
MODELAGEM DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DO SISTEMA AERMOD**

TOLEDO

2024

ANDERSON ALEXANDRE BORGES

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE SOFTWARE PARA APOIAR A
MODELAGEM DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DO SISTEMA AERMOD**

**DEVELOPMENT OF A SOFTWARE TOOL TO SUPPORT ATMOSPHERIC
DISPERSION MODELING OF THE AERMOD SYSTEM**

Trabalho de conclusão de curso de Dissertação apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologias em Biociências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Dr. Wesley Kleweron Guez Assunção.

Coorientador: Dr. Edson Tavares de Camargo.

Coorientadora: Dra. Leila Droprinchinski Martins.

TOLEDO

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



ANDERSON ALEXANDRE BORGES

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE SOFTWARE PARA APOIAR A MODELAGEM
DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DO SISTEMA AERMOD**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Tecnologias Em Biociências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Tecnologias Em Biociências.

Data de aprovação: 15 de Março de 2024

Dr. Wesley Klewerton Guez Assuncao, Doutorado - North Carolina State University

Dr. Edicle De Souza Fernandes Duarte, Doutorado - Instituto de Ciências da Terra

Dr. Gustavo Henrique Dalposso, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Marcos Vinicius Bueno De Moraes, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Sidgley Camargo De Andrade, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Willian Lemker Andreao, Doutorado - Arcelormittal Brasil S.A.

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 15/03/2024.

Dedico este trabalho à minha família, que desde o início me apoiou e incentivou para que eu conseguisse chegar até aqui, que me deram força e coragem para enfrentar os momentos mais difíceis vividos no decorrer do curso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por mais esta oportunidade e etapa vencida.

Agradeço aos meus orientadores Prof. Dr. Wesley K. G. Assunção, Prof. Dr. Edson T. Camargo, Prof.(a) Dr.(a) Leila D. Martins e ao colaborador engenheiro ambiental Dr. Willian Lemker Andreão, pelas orientações, conhecimentos passados e sabedoria com que me guiaram nesta trajetória.

Aos professores que com boa vontade e dedicação alargaram nossos horizontes.

Aos meus colegas de sala que cooperaram para um enriquecimento humano neste tempo de convívio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

A poluição do ar causa danos ao meio ambiente e é um dos maiores riscos ambientais à saúde. Para conhecer a origem das emissões de poluentes é necessário obter informações inventariadas das fontes de emissões que podem ser utilizadas em modelos para avaliar a qualidade do ar de uma determinada região. As simulações podem ser realizadas pelo sistema AERMOD, um modelo regulatório de dispersão atmosférica gaussiano indicado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Contudo, preparar os arquivos para alimentar o sistema de modelagem não é uma tarefa trivial, propensa a erros e que requer grande atenção por parte dos profissionais. Por vezes os profissionais da área ambiental, devido à dificuldade em obter dados de diferentes origens, formatos requisitados pelo modelo e a inexistência de ferramenta funcional e gratuita, acabam pagando para terceiros lhes fornecerem os mesmos. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo desenvolver um software gratuito, para automatizar a geração dos arquivos de entrada do sistema de modelagem AERMOD, contribuindo assim com profissionais e/ou pesquisadores da área. Para avaliar os arquivos resultantes do software proposto, foi utilizado o software BREEZE AERMOD/ISC como referência. As simulações foram realizadas através de um inventário de emissões obtido do IBAMA, para o período de 2019 a 2021, para os poluentes PM₁₀, CO, NO_x e dados específicos de cada fonte emissora do município e região de Toledo-PR. O estudo teve como resultado, um software válido com uma interface amigável, onde os envolvidos possam criar os seus arquivos de entrada para cada etapa de processamento, facilitando a execução no modelo de dispersão de forma eficaz. Por meio de mapas de contorno e validação numérica do conjunto de dados de cada poluente e período, o estudo mostrou a equivalência ou semelhança do software proposto comparado com o software referência. Os resultados da pesquisa poderão auxiliar universidades e pesquisadores da área ambiental, através da redução de custos com o uso de software proprietário e o incentivo de novos estudos sobre melhorias na qualidade do ar.

Palavras-chave: modelo regulatório; proteção ambiental; qualidade do ar; emissão de poluentes; poluição atmosférica.

ABSTRACT

Air pollution causes damage to the environment and is one of the greatest environmental health risks. In order to know the origin of pollutant emissions, it is necessary to obtain inventoried information on emission sources that can be used in models to assess the air quality of a given region. Simulations can be carried out using the AERMOD system, a regulatory Gaussian atmospheric dispersion model recommended by the US Environmental Protection Agency. However, preparing the files to feed the modeling system isn't a trivial task, it's prone to errors and requires great attention from professionals. Sometimes, due to the difficulty in obtaining data from different sources, the formats required by the model and the lack of a free, functional tool, environmental professionals end up paying third parties to supply them. With this in mind, this work aims to develop free software to automate the generation of input files for the AERMOD modeling system, thus contributing to professionals and/or researchers in the field. To evaluate the files resulting from the proposed software, the BREEZE AERMOD/ISC software was used as a reference. The simulations were carried out using an emissions inventory obtained from IBAMA, for the period 2019 to 2021, for the pollutants PM₁₀, CO, NO_x and specific data for each emission source in the city and region of Toledo-PR. The study resulted in valid software with a user-friendly interface, where those involved can create their input files for each processing stage, facilitating effective execution of the dispersion model. By means of contour maps and numerical validation of the data set for each pollutant and period, the study showed the equivalence or similarity of the proposed software compared to the reference software. The research results could help universities and researchers in the environmental field by reducing the costs of using proprietary software and encouraging new studies on improving air quality.

Keywords: regulatory model; environmental protection; air quality; pollutants emission; atmospheric pollution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa da localização de Toledo - PR.....	32
Figura 2 - Fluxograma AERMAP	33
Figura 3 - Definição do arquivo topográfico e domínio de modelagem	34
Figura 4 - Definição das fontes emissoras.....	35
Figura 5 - Configuração da grade de modelagem cartesiana.....	37
Figura 6 - Configuração dos arquivos de saída.....	40
Figura 7 - Arquivo de saída AERMAP.OUT	41
Figura 8 - Arquivo de saída AERMAP.ROU	41
Figura 9 - Arquivo de saída AERMAP.SOU	42
Figura 10 - Fluxograma AERMET.....	42
Figura 11 - Configuração do arquivo de radiossondagem	43
Figura 12 - Arquivo de radiossondagem.....	44
Figura 13 - Configuração do arquivo meteorológico	44
Figura 14 - Arquivo meteorológico INMET	45
Figura 15 - Arquivo meteorológico SAMSOM.SAM	45
Figura 16 - Definição do período do arquivo AERMET_2.INP	50
Figura 17 - Definição dos setores do arquivo AERMET_3.INP	51
Figura 18 - Arquivo AERMET.PFL.....	53
Figura 19 - Arquivo AERMET.SFC	53
Figura 20 - Fluxograma AERMOD	54
Figura 21 - Bloco de controle AERMOD	55
Figura 22 - Bloco das fontes emissoras.....	55
Figura 23 - Parâmetros das fontes emissoras	56
Figura 24 - Definição do arquivo de receptores	57
Figura 25 - Definição dos dados meteorológicos.....	57
Figura 26 - Definição dos arquivos de saída.....	58
Figura 27 - Arquivo ERRORS.OUT.....	59
Figura 28 - Arquivo AERMOD.OUT	60
Figura 29 - Arquivo PM10_PERIOD_PLOT.PLT	60
Figura 30 - Software BREEZE AERMOD.....	61
Figura 31 - Sistema AERMAP	65
Figura 32 - Cadastro de arquivos TIF	66
Figura 33 - Cadastro de fontes emissoras	67
Figura 34 - Cadastro de domínio de modelagem.....	68
Figura 35 - Tipos de grades.....	68
Figura 36 - Cadastro de grade cartesiana uniforme.....	69
Figura 37 - Cadastro de grade cartesiana com elevação.....	69
Figura 38 - Cadastro de grade cartesiana discreta normal.....	70
Figura 39 - Cadastro de grade cartesiana discreta EVALFILE	70
Figura 40 - Visualizar mapa do domínio e grade de modelagem	71
Figura 41 - Sistema AERMET	72
Figura 42 - Cadastro de características de superfície	72
Figura 43 - Cadastro de características de uso e ocupação do solo.....	73
Figura 44 - Cadastro de arquivos de radiossondagem.....	74
Figura 45 - Editor de arquivos SAM - INMET.....	74
Figura 46 - Cadastro de arquivos SAM.....	75
Figura 47 - Editor de arquivos SAM - MESONET	76

Figura 48 - Sistema AERMOD.....	77
Figura 49 - Cadastro de definições AERMOD	77
Figura 50 - Cadastro de saídas AERMOD.....	78
Figura 51 - Cadastro de parâmetros AERMOD	79
Figura 52 - Máximas médias do período 2019/1 do poluente PM₁₀	80
Figura 53 - Máximas médias do período 2019/1 - Referência vs Avaliado	82
Figura 54 - Máximas médias do período 2019/2 – Referência vs Avaliado	84
Figura 55 - Máximas médias do período 2020/1 – Referência vs Avaliado	86
Figura 56 - Máximas médias do período 2020/2 – Referência vs Avaliado	88
Figura 57 - Máximas médias do período 2021/1 – Referência vs Avaliado	90
Figura 58 - Máximas médias do período 2021/2 – Referência vs Avaliado	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões de qualidade do ar	24
Tabela 2 – Atribuição de pesos para altitude e cobertura ao nível do céu	48
Tabela 3 – Classificação do índice Kappa por McHugh.....	63
Tabela 4 – Taxa de emissão dos poluentes por período	56
Tabela 5 – Similaridade entre os mapas gerados por referência e avaliado utilizando o índice Kappa ponderado (\hat{K}_w)	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fontes emissoras	33
Quadro 2 – Sintaxe da grade cartesiana	37
Quadro 3 – Parâmetros da grade cartesiana	38
Quadro 4 – Sintaxe da grade polar	38
Quadro 5 – Parâmetros da grade polar	38
Quadro 6 – Sintaxe da grade cartesiana discreta.....	39
Quadro 7 – Parâmetros da grade cartesiana discreta.....	39
Quadro 8 – Sintaxe da grade cartesiana discreta para saída EVALFILE.....	39
Quadro 9 – Parâmetros da grade cartesiana discreta para saída EVALFILE.....	40
Quadro 10 – Sintaxe da grade polar discreta.....	40
Quadro 11 – Parâmetros da grade polar discreta.....	40
Quadro 12 – Formato do cabeçalho do arquivo SAMSOM	46
Quadro 13 – Formato do corpo do arquivo SAMSOM.....	46
Quadro 14 – Código de estações para o hemisfério sul.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AERMAP	Pré-processador de dados de terreno
AERMET	Pré-processador de dados meteorológicos
AERMOD	Modelo Regulatório da Sociedade Meteorológica Americana/Agência de Proteção Ambiental (<i>American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model</i>)
P	Altímetro de pressão em polegadas
ANGLE	Ângulo de orientação para a área rectangular em graus a partir do norte
AREACIRC	Fonte fixa de emissão do tipo área círculo
AREAPOLY	Fonte fixa de emissão do tipo área polígono
AREAVERT	Localizações dos vértices através de um conjunto de coordenadas
AREMIS	Taxa de emissão de área em gramas por metro quadrado por segundo
AVERTIME	Média horária do período
BPIPPRIM	Construindo Programa de Entrada de Perfil para PRIME (<i>Building Profile Input Program for PRIME</i>)
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COC	Coeficiente de correlação
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONC	Concentrações
CSV	Extensão do arquivo meteorológico no formato de planilha Excel
DATAFILE	Descrição do arquivo topográfico
DFAULT	Tipo do modelo
DOMAINXY	Coordenadas do domínio de modelagem
DRCT	Direção do vento em graus
DS	Diâmetro da chaminé em metros
DWPF	Temperatura do ponto de orvalho em Fahrenheit
ERRORFIL	Arquivo de erros AERMOD
FSL	Extensão do arquivo de radiossondagem do pré-processador AERMET
GB	Unidade de medida de informação gigabyte
GEP	Boas Práticas de Engenharia (<i>Good Engineering Practice</i>)
GMT	Tempo Médio de Greenwich (<i>Greenwich Mean Time</i>)
GRIDCART	Configuração da grade de modelagem
HD	Disco rígido (<i>Hard disk</i>)
HS	Altura da chaminé em metros
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ID	Código da estação meteorológica
IDW	Distância inversa ponderada (<i>Inverse Distance Weighted</i>)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INP	Extensão dos arquivos de entrada do sistema AERMOD
INPUT	Entrada do sistema AERMOD
LCQAr	Laboratório de Controle da Qualidade do Ar
LNEMIS	Taxa de emissão em gramas por segundo por metro quadrado
LOCATION	Parâmetro de definição das fontes de emissão
MESONET	Rede de mesoescala (<i>Mesoscale Network</i>)

NOAA	Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>)
NVERTS	Número de vértices ou lados do polígono de origem da área
OPEMIS	Taxa de emissão em gramas por segundo por metro quadrado
OUT	Extensão do arquivo de saída do log de execução AERMOD
PERIOD	Média por período de simulação definido pelo AERMOD
PFL	Extensão do arquivo de perfil vertical do pré-processador AERMET
PITVOL	Volume do poço aberto em metros cúbicos
PLT	Extensão do arquivo de saída do processador AERMOD
POLLUTID	Tipo do poluente
PR	Paraná
QS	Taxa de emissão para fontes do tipo ponto em gramas por segundo
RADIUS	Raio da área circular em metros
RAM	Memória de acesso aleatório (<i>Random access memory</i>)
RELH	Umidade relativa em porcentagem
RELHGT	Altura de lançamento acima do solo em metros
REPAR	Refinaria Presidente Getúlio Vargas
ROU	Extensão do arquivo de receptores do pré-processador AERMAP
SAM	Extensão do arquivo meteorológico do pré-processador AERMET
SFC	Extensão do arquivo de superfície do pré-processador AERMET
SKNT	Velocidade do vento em nós
SKYC1	Cobertura ao nível do céu 1
SKYL1	Altitude ao nível do céu em pés 1
SOU	Extensão do arquivo de fontes emissoras do pré processador AERMAP
SOURCE	Codificação interna utilizada no arquivo de entrada do AERMOD
SRTM	Missão Topográfica de Radar Embarcado (<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>)
SZINIT	Dimensão vertical inicial da pluma da fonte de área em metros
TIF	Extensão dos arquivos topográficos do pré-processador AERMAP
TITLEONE	Título do arquivo
TMPF	Temperatura do ar em Fahrenheit
TS	Temperatura de saída dos gases da chaminé em Kelvin
TXT	Extensão de arquivo texto criado por bloco de notas
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
US EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (<i>U.S. Environmental Protection Agency</i>)
UTC	Tempo Universal Coordenado (<i>Universal Time Coordinated</i>)
UTM	Universal Transversa de Mercator (<i>Universal Transverse Mercator</i>)
VLEMIS	Taxa de emissão de volume em gramas por segundo
VS	Velocidade de saída dos gases da chaminé em metros por segundo
VSBY	Visibilidade em milhas
WIDTH	Largura da fonte em metros com largura mínima de 1 metro
WHO	Organização Mundial de Saúde (<i>World Health Organization</i>)
XDATES	Período de simulação
XINIT	Comprimento do lado X da área, na direção leste-oeste se o ângulo for 0 graus em metros
XYINC	Coordenadas da grade de modelagem
YINIT	Comprimento do lado Y da área, na direção norte-sul se o ângulo for 0 graus em metros

LISTA DE SÍMBOLOS

PM	Material particulado
CO	Monóxido de carbono
NO _x	Óxidos de nitrogênio
SO ₂	Dióxido de enxofre
O ₃	Ozônio
HC	Hidrocarbonetos
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
S	Enxofre
COV	Compostos orgânicos voláteis
CH ₄	Metano
Pb	Chumbo
PTS	Partículas totais em suspensão
Mn	Manganês
µm	Micrómetro
µg/m ³	Microgramas por metro cúbico
PPM	Partes por milhão
kJ/m ²	Quilojoule por metros quadrados
KM ²	Quilômetro quadrado
MM	Milímetros
V	Volume
P	Pressão
°C	Graus Celsius
°F	Graus Fahrenheit
inHg	Polegadas de mercúrio
Mbar	Milibar
Wh/m ²	Watts por hora por metro quadrado
\hat{K}_w	Índice Kappa ponderado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	19
1.1.1	Objetivo geral	19
1.1.2	Objetivos específicos.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Poluentes atmosféricos	20
2.1.1	Material Particulado (PM)	20
2.1.2	Monóxido de Carbono (CO)	21
2.1.3	Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	21
2.1.4	Dióxido de Enxofre (SO ₂)	22
2.1.5	Ozônio (O ₃).....	22
2.2	Legislação	23
2.3	Principais fontes de emissão	24
2.4	Sistema AERMOD	25
2.5	Benefícios da Modelagem Atmosférica	26
2.6	Trabalhos relacionados	27
3	MODELAGEM DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA	31
3.1	Recursos computacionais	31
3.2	Inventário	31
3.3	AERMAP	33
3.3.1	Arquivo de entrada INP	34
3.3.2	Arquivo de saída OUT	41
3.3.3	Arquivo de saída ROU.....	41
3.3.4	Arquivo de saída SOU.....	42
3.4	AERMET	42
3.4.1	Arquivo de entrada INP 1	43
3.4.2	Arquivo de entrada INP 2	50
3.4.3	Arquivo de entrada INP 3	50
3.4.4	Arquivo de saída PFL.....	52
3.4.5	Arquivo de saída SFC	53
3.5	AERMOD	53
3.5.1	Arquivo de entrada INP	54
3.6	BREEZE AERMOD/ISC	61

3.7	Validação.....	62
3.7.1	Método de interpolação IDW	62
3.7.2	Índice Kappa ponderado	63
4	SOFTWARE PROPOSTO.....	65
4.1	Automatização AERMAP	65
4.1.1	Arquivo TIF	66
4.1.2	Fontes emissoras	66
4.1.3	Domínio de modelagem	66
4.1.4	Execução AERMAP.....	71
4.2	Automatização AERMET	71
4.2.1	Definições.....	72
4.2.2	Arquivo FSL.....	72
4.2.3	Editor SAM - INMET	73
4.2.4	Editor SAM - MESONET	75
4.2.5	Execução AERMET	76
4.3	Automatização AERMOD	76
4.3.1	Definições.....	77
4.3.2	Parâmetros.....	78
4.3.3	Execução AERMOD	79
4.3.4	Plotagem	79
5	AVALIAÇÃO E RESULTADOS	81
5.1	Plotagem e comparação dos mapas.....	81
5.1.1	Resultados em 2019.....	81
5.1.2	Resultados em 2020.....	85
5.1.3	Resultados em 2021.....	89
5.1.4	Fontes de emissão	93
5.1.5	Propriedades físico-químicas	93
5.1.6	Processos atmosféricos	93
5.1.7	Interações entre poluentes	93
5.1.8	Diferença dos poluentes no mesmo período	94
5.2	Índice Kappa ponderado.....	94
6	CONCLUSÃO	96
7	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	97
	REFERÊNCIAS.....	98
	APÊNDICE A - Documentação do Software AERMOD Open	104

1 INTRODUÇÃO

A poluição do ar causa danos ao meio ambiente e também é considerada um dos principais fatores que afetam a qualidade de vida da população, tornando-se um dos maiores riscos ambientais à saúde mencionado pela *World Health Organization* (WHO, 2021). Durante anos a poluição do ar acompanha os seres humanos, através de atividades que modificam a composição química da atmosfera. A introdução no meio ambiente de substâncias nocivas aos seres humanos e demais organismos vivos, podem definir a poluição, onde sua origem teve apoio através da revolução industrial produzindo enormes quantidades de poluentes atmosféricos que são prejudiciais à saúde humana, embora tenha sido um grande sucesso em termos de tecnologia, sociedade e prestação de múltiplos serviços (Manisalidis *et al.*, 2020).

As fontes naturais e artificiais são fatores que contribuem para a poluição da atmosfera. As fontes naturais de poluição, são compostas por poeira vegetal, espacial, microrganismos, incêndios em florestas e erupções vulcânicas. Resíduos domésticos, transportes, empresas industriais e energia, são fontes artificiais de poluição provocadas pelo homem. A poluição artificial do ar continua aumentando, representando a principal referência para agravar os danos ao meio ambiente (Allamuratov; Tlepbergenova, 2023).

Como efeito, o excesso da emissão de poluentes mina a segurança econômica das nações e degrada os ecossistemas da Terra. É considerado um importante agente causador de muitas doenças, incapacidades, mortes prematuras, colocando em perigo a saúde e o bem-estar de sociedades inteiras (Landrigan *et al.*, 2018). Essas condições são responsáveis por várias doenças neurológicas, cardíacas, vasculares e pulmonares (Nowak *et al.*, 2018).

As doenças respiratórias estão correlacionadas com o tempo de exposição à poluição e aos poluentes atmosféricos prevalecendo nas áreas industrializadas. Para a prevenção e com o objetivo de melhorar os níveis de tratamento, vários estudos têm sido realizados nas áreas de alergologia e pneumologia (Cipolla *et al.*, 2018).

Devido a esses fatores, ações concretas são necessárias para melhorar a qualidade do ar em regiões industrializadas e urbanas, incluindo suas vizinhanças (Tadano *et al.*, 2021). Para identificar a possível origem das emissões e realizar tomada de decisão ambiental é necessário obter informações inventariadas das fontes emissoras para, por exemplo, suprir modelos de dispersão e qualidade do ar em

simulações de condições reais e de cenários. Os modelos atmosféricos de qualidade do ar visam representar os processos físicos e químicos da atmosfera associados à poluição do ar e podem contribuir para o diagnóstico e prognóstico das concentrações e conseqüentemente, da qualidade do ar.

Esses modelos podem ser de escala global, regional e microescala, sendo fatores determinísticos em sua escolha para um propósito específico. Possuem diferentes tratamentos matemáticos e níveis de complexidade em relação ao tratamento dos processos de superfície e atmosféricos (Leelóssy *et al.*, 2018).

Na maioria das aplicações regulatórias e operacionais, os modelos possuem uma abordagem Gaussiana em escala local para dispersão da pluma. Outros possuem comportamento Euleriana, designado para grade baseado na solução matemática das equações de transporte atmosférico ou Lagrangiana de dispersão de partículas em escala regional para global (Conti; Guarino; Bacenetti, 2020).

O sistema de modelagem *American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model* (AERMOD) é um modelo regulatório de dispersão atmosférica gaussiano mais recomendado e indicado atualmente pela *United States Environmental Protection Agency* (US EPA, 2023) devido ao seu extenso desenvolvimento (Salva *et al.*, 2021). O modelo é aconselhado para estudo de impacto de curto alcance de até 50 km para a dispersão das emissões de poluentes (Coelho *et al.*, 2023), requer menos recurso computacional (Snoun; Krichen; Chérif, 2023) e menos complexidade na sua configuração mediante parâmetros de entrada (Higazy *et al.*, 2019). O sistema é formado pelos pré-processadores AERMAP, AERMET e o próprio processador principal AERMOD (Ridzuan *et al.*, 2020). O AERMAP é responsável pelo processamento do terreno, definição dos receptores, domínio, grade de modelagem e arquivos topográficos da região de estudo. O AERMET realiza o processamento de dados meteorológicos de superfície, altitude e características de uso e ocupação do solo. O AERMOD utiliza os arquivos gerados pelos sistemas AERMAP e AERMET e processa concentrações médias estimadas de cada poluente simulado.

Apesar da importância da simulação da dispersão atmosférica, preparar os arquivos para alimentar o sistema de modelagem não é uma tarefa trivial, propensa a erros e que requer grande atenção por parte dos profissionais. A criação dos arquivos de entrada de cada etapa do processamento exige critérios, cada variável ou palavra chave possui uma quantidade de caracteres e espaçamento entre elas.

Outro problema abordado, é a montagem do arquivo meteorológico de superfície, onde cada variável possui uma equação de conversão para a unidade aceitável pelo modelo, conversão para horário local, preenchimento padrão para dados faltantes, quantidade de caracteres e espaçamento para o mesmo. Por vezes os profissionais da área ambiental, devido à dificuldade em obter dados necessário para compor o sistema, formatos de arquivos e a carência de ferramenta funcional e gratuita, acabam pagando para terceiros lhes fornecerem os elementos mencionados.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo desenvolver um software gratuito para apoiar o sistema AERMOD automatizando a geração dos arquivos de entrada, contribuindo assim com profissionais e/ou pesquisadores da área. O software proposto gerencia arquivos topográficos, cadastro de fontes emissoras, definição do domínio e grade de modelagem referente ao processamento AERMAP. No processo AERMET, o software controla arquivos de radiossondagem, meteorológicos e sua própria conversão para o formato apropriado de leitura pelo sistema. O software está apto para automatizar a definição das características de superfície de uso e ocupação do solo. A otimização do processo principal AERMOD é composta pelo cadastro de poluentes e configuração dos arquivos de saída. O módulo permite classificar o tipo de cada fonte emissora definida no processo AERMAP e sua taxa de emissão. Dessa forma, é possível visualizar as máximas concentrações médias de cada poluente dos arquivos gerados, através de mapas de contorno contribuindo para uma análise descritiva.

Para avaliar o software proposto, foi utilizado o software BREEZE AERMOD/ISC como referência. As simulações foram realizadas através de um inventário de emissões obtido do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2020), para o período de 2019 a 2021, para os poluentes material particulado (PM_{10}), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio (NO_x) das fontes emissoras do município e região de Toledo do estado do Paraná (PR).

A região foi motivada principalmente, por ganhar destaque no agronegócio do estado e como característica, fontes emissoras de produção agroindustrial (Lopes *et al.*, 2020). Por outro lado, essas condições acabam ocasionando problemas referente à qualidade do ar possuindo um longo histórico de reclamações resultantes de compostos que causam mal cheiro gerando poluição atmosférica.

O processo de validação teve como primeira etapa a validação visual por mapas de contorno adquiridos por intermédio de interpolação *Inverse Distance Weighted* (IDW) e a segunda por validação numérica fazendo uso do método estatístico índice Kappa ponderado. Os resultados da validação foram determinantes no propósito de apoiar universidades, legisladores e tomadores de decisão ambiental no gerenciamento eficaz do controle da qualidade do ar.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver uma ferramenta de software gratuita para automatizar a geração dos arquivos de entrada do sistema de modelagem de dispersão atmosférica AERMOD.

1.1.2 Objetivos específicos

- Automatizar a geração dos arquivos de entrada dos pré-processadores AERMAP, AERMET e o processador principal AERMOD;
- Comparar os arquivos gerados pelo AERMOD, através de mapas de contorno com as máximas concentrações médias dos poluentes do software proposto com o software de referência, possibilitando uma análise exploratória;
- Avaliar o conjunto de dados do arquivo de saída do tipo PLOTFILE do software proposto com o software de referência.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Poluentes atmosféricos

A interferência direta ou indiretamente com a segurança, saúde e bem estar do homem através de substâncias em concentrações lançadas ou presentes no ambiente atmosférico podem ser definidas como poluição do ar (CONAMA 491/2018, 2018). Seu resultado se dá como uma consequência do rápido crescimento econômico, industrial e populacional.

A poluição do ar pode ser de ambientes internos ou externos e as quantidades e tipos de poluentes dependendo das características das fontes. Os poluentes atmosféricos podem ser emitidos diretamente (primários) ou formados na atmosfera (secundários) por reações químicas complexas. Os poluentes de ambientes internos são geralmente liberados por fontes de energia doméstica, materiais de construção e produtos de limpeza. Os externos são derivados de riscos naturais, atividades humanas, industriais, agrícolas e de construção (Kim *et al.*, 2018).

A resolução CONAMA 491/2018 define poluente atmosférico como qualquer forma de matéria que pode causar poluição atmosférica quando partículas líquidas, gasosas, de energia ou sólidas (poeiras, pós e fumos) estão presentes na atmosfera. Essas partículas são resultantes de fenômenos naturais dispersos no ar atmosférico e das atividades humanas. Dessa forma, classificam-se nessa categoria as substâncias formadas pela reação de certos poluentes com a radiação advinda do sol, os gases e partículas expelidos por indústrias, veículos, vulcanismos, originários da degradação da matéria orgânica e outros fenômenos naturais.

Vários poluentes podem ser encontrados no ambiente urbano como MP, CO, NO_x, dióxido de enxofre (SO₂) e ozônio (O₃). O MP tem sido frequentemente relacionado aos efeitos adversos à saúde estando entre os principais poluentes (Martins *et al.*, 2021). Os poluentes emitidos diretamente pelas fontes de emissão, são chamados de primários e os secundários são formados através de reações químicas entre os componentes naturais da atmosfera e poluentes primários (CETESB, 2024).

2.1.1 Material Particulado (PM)

O material particulado atmosférico pode ser de origem primária ou secundária, que se constitui de partículas líquidas e/ou sólidas suspensas na atmosfera correspondendo a uma mistura complexa de substâncias. Respectivamente são

denominados de PM_{10} , $PM_{2,5}$ e PM_1 para definir frações de aerossóis conforme as faixas de tamanho de partículas em μm (Nazarenko; Pal; Ariya, 2021).

É um poluente que apresenta alta variabilidade de concentração, tamanho e composição química no espaço e no tempo, sendo influenciado pelas condições meteorológicas, pelas fontes e processos físicos e químicos que ocorrem na atmosfera. São classificados quanto ao tamanho em partículas ultrafinas com diâmetro aerodinâmico menor que $0,1 \mu m$ ($PM_{0,1}$); partículas finas, com diâmetro menor que $2,5 \mu m$ ($PM_{2,5}$); e partículas grossas ou respiráveis, com diâmetro aerodinâmico menor que $10 \mu m$ (PM_{10}) (WHO, 2021). O tamanho e composição guardam relação com a origem e características da fonte de emissão do material particulado atmosférico.

2.1.2 Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono é um gás tóxico, inflamável, de aparência incolor, sem cheiro e insípido. Produto da reação incompleta de combustão de substâncias ricas em carbono e matéria orgânica, sendo emitido por diversas atividades naturais e humanas, principalmente por queima de combustíveis fósseis e biomassa (Nakhjiri; Kakroodi, 2024). É um poluente primário que causa efeitos adversos à saúde, quando no corpo humano reage com a hemoglobina do sangue no lugar do oxigênio, impedindo assim o transporte de oxigênio no organismo.

2.1.3 Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

São produzidos a partir da combustão de combustíveis fósseis em fontes fixas e móveis, provenientes de usinas de energia, processos industriais e queimas estacionárias de combustíveis. É considerado um dos principais poluentes atmosféricos e sua emissão é categorizada em térmico, combustível e imediato. O imediato consiste dentro de um curto tempo de resistência a baixas temperaturas sob condições ricas em combustível sua produção, podendo ser através da reação de radicais livres de hidrocarbonetos (HC) com nitrogênio molecular pela combustão de HCS. Quando compostos contendo N nos combustíveis são parcialmente convertidos em NO liberados como voláteis a baixa temperatura, são representados pelo tipo combustível. A oxidação do nitrogênio atmosférico pelo oxigênio em alta temperatura podem ser formados pelo térmico (Gholami *et al.*, 2020).

O dióxido de nitrogênio (NO_2), dentre as várias espécies de óxidos de nitrogênio, é a mais relevante do ponto de vista de saúde humana. É um gás marrom avermelhado com odor pungente característico e um forte oxidante. O NO_x na atmosfera produz espontaneamente o NO_2 . A sua importância não se restringe aos efeitos à saúde, mas pela absorção da radiação solar visível, pelos efeitos climáticos, capacidade oxidativa da troposfera e pelo papel crítico que desempenha na determinação das concentrações de ozônio troposférico (WHO, 2021), (Seinfeld; Pandis, 2016).

2.1.4 Dióxido de Enxofre (SO_2)

O dióxido de enxofre tem origem em material fóssil (petróleo), matéria orgânica de biomassa (lenha e carvão) produzido pela atividade humana. É resultante de processos de combustão que apresentam enxofre (S). Também pode ser gerado naturalmente por atividades geotérmicas, comumente oriundo de vulcões. É um gás não inflamável, tóxico e incolor. (Orellano; Reynoso; Quaranta, 2021).

2.1.5 Ozônio (O_3)

É um gás que ocorre tanto ao nível do solo quanto na alta atmosfera da Terra. É gerado por uma série de reações fotoquímicas complexas envolvendo precursores de ozônio e radiação solar. Ao nível do solo é um poluente atmosférico secundário sendo um importante gás com efeito estufa. Na troposfera, desempenha um papel atuando como barreira aos raios ultravioleta protegendo o meio ambiente e os seres humanos (Zoran *et al.*, 2020).

Na estratosfera é um constituinte fundamental à vida no planeta, absorvendo praticamente toda a radiação ultravioleta mais intensa (entre 240-290 nm), radiação essa prejudicial aos seres vivos. Na Troposfera o ozônio é um poluente e gerado por uma série de reações fotoquímicas (com a participação da radiação solar) complexas envolvendo principalmente dois grandes grupos de precursores: os compostos orgânicos voláteis (COVs ou VOCs em inglês) e os óxidos de nitrogênio (NO_x , denotados como $\text{NO} + \text{NO}_2$). Em regiões remotas da troposfera o metano (CH_4) e CO são os principais precursores. Assim, o ozônio troposférico é um poluente secundário, ou seja, formado na atmosfera e que está entre os poluentes climáticos de curto tempo de vida e que pela sua característica

oxidativa, apresenta efeitos adversos à saúde e à vegetação (Seinfeld; Pandis, 2016), (Lee *et al.*, 2024).

2.2 Legislação

Para que a saúde da população e o meio ambiente sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica, foi estabelecido um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado a um intervalo de tempo de exposição e associado com o valor de concentração de um poluente específico na atmosfera.

A resolução CONAMA nº 491/2018 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, definiu padrões de qualidade como concentrações de poluentes atmosféricos demonstrado na Tabela 1 e utilizado a Equação 1 para o cálculo do índice de qualidade do ar. Esses padrões foram definidos para os poluentes: partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis PM₁₀ e respiráveis PM_{2,5}, SO₂, CO, NO₂, O₃ e chumbo (Pb).

Os critérios de implementação e os valores guia de qualidade do ar são recomendados pela WHO, considerada como referência em 2005. Dentro da modelagem, a resolução tem como objetivo, informar o padrão de qualidade do ar final e o período de referência para identificar fontes de emissão que violam os padrões de qualidade do ar de acordo com os respectivos poluentes e taxa de emissão emitida na atmosfera.

Entretanto, Raposo, De Assis e Norton (2021), demonstraram que a resolução levantada, oferece uma falsa sensação de proteção a sociedade brasileira, não garantindo uma segurança da saúde da população com base nos índices de exposição para cada poluente. Isso ficou evidente com base nos valores da atual legislação brasileira sobre os limites máximos da qualidade do ar e uma revisão bibliográfica elaborada por meio de estudos médicos analisados. A resolução acaba estimulando a inércia de qualquer tentativa de atingir os limites porque não estabelece os períodos para cada estágio intermediário (PI-1, PI-2, PI-3 e PF), tendo como funcionalidade, objetivos temporários levando de forma escalonada aos padrões finais.

Tabela 1 – Padrões de qualidade do ar

Poluente Atmosférico	Período Ref.	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm
Material Particulado - PM ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - PM _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre – SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio – NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio – O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono – CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão – PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo – Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-

¹ – média aritmética anual

² – média horária

³ – média horária

⁴ – média geométrica anual

⁵ – medido nas partículas totais em sus

Fonte: Resolução CONAMA Nº 491/2018 (2018)

$$IQAr = I_{ini} + \frac{I_{fin} - I_{ini}}{C_{fin} - C_{ini}} \times (C - C_{ini}) \quad (1)$$

Onde:

I_{ini} = valor do índice que corresponde à concentração inicial da faixa.

I_{fin} = valor do índice que corresponde à concentração final da faixa.

C_{ini} = concentração inicial da faixa onde se localiza a concentração medida.

C_{fin} = concentração final da faixa onde se localiza a concentração medida.

C = concentração medida do poluente.

2.3 Principais fontes de emissão

Algumas das principais fontes emissoras são encontradas no setor de transporte veicular e marítimo, setor doméstico através de atividades culinárias e sistemas de aquecimento ambiente, setor industrial, setor agrícola e alimentar e setor

aeração relacionado com ambientes interiores como casas ou comunidades partilhadas (Sofia *et al.*, 2020), estações de tratamento de esgoto (Wiśniewska; Szyłak-Szydłowski, 2021) e aterros sanitários (Duan; Scheutz; Kjeldsen, 2021).

Para analisar a qualidade do ar, existem várias técnicas utilizadas para essas fontes de emissão como análises físico-químicas (Wiśniewska; Szyłak-Szydłowski, 2021), estações de monitoramento mediante sensores de baixo custo (Liang, 2021), análise olfatométrica, o uso de nariz eletrônico, participação da sociedade, pesquisas de campo e modelos matemáticos de dispersão atmosférica (Onofrio; Spataro; Botta, 2020).

2.4 Sistema AERMOD

As fontes de emissões existentes e futuras ou modificadas com relação à sistemas de redução são associadas à avaliação dos impactos de poluentes por modelos de dispersão no ar considerado como uma ferramenta útil. Podem ser aplicados para simular a dispersão de poluentes na atmosfera disponíveis em diferentes tipos de modelos de dispersão atmosférica (Conti; Guarino; Bacenetti, 2020).

O modelo gaussiano por sua vez, é o modelo mais utilizado entre os modelos de dispersão. Em condições de estado estacionário, baseia-se em uma distribuição gaussiana vertical e horizontal da pluma. É regularmente utilizado na modelagem de emissões atmosféricas especialmente para fins regulamentares. Enquadra-se bem na maioria dos dados de laboratório e de campo, embora uma distribuição gaussiana exista variações não sistêmicas frequentes (Wagh *et al.*, 2022).

O AERMOD é um dos modelos de dispersão gaussiano muito utilizado e recomendado pela US EPA. Ele serve para estimar as distribuições de concentrações a partir de determinada emissão por diferentes fontes. Esse modelo pode ser utilizado para subsidiar o planejamento de ações de mitigação da concentração de poluentes no meio ambiente para melhorar a qualidade do ar, controle das emissões e avaliação da saúde e dos ecossistemas da região de estudo por intervenção de futuros estudos (Eslamidoost *et al.*, 2022).

O AERMOD é um modelo regulatório de pluma em estado estacionário que incorpora dispersão de ar com base na estrutura de turbulência da camada limite planetária. Indicado pela US EPA, é utilizado para estimar fluxos de deposição e concentração de espécies químicas. Tem como características o tratamento de

terreno simples, complexos, conceitos de escala e fontes de superfície e elevadas (US EPA, 2023). O modelo é recomendado para aplicações de campo de no máximo 50 km de distância a partir do centro do domínio de modelagem, fazendo-se composto por três módulos: AERMET, AERMAP, AERMOD (Eslami Doost *et al.*, 2023).

O AERMET processa dados meteorológicos obtidos a partir de medições de campo observadas. Ele gera perfis verticais de direção e velocidade do vento, temperatura, gradiente de temperatura potencial, turbulência e cobertura de nuvens como parâmetros para cálculo da camada limite planetária (Pandey; Sharan, 2019).

O AERMAP processa dados de terreno, definição dos receptores por intervenção da área de modelagem respectivamente para obter a distribuição da concentração de poluentes. A partir da inserção dos dados topográficos é obtido as elevações do terreno da região de estudo (Macêdo; Ramos, 2020).

O AERMOD é o módulo final que adquire as saídas do AERMAP e AERMET e gera estimativas de concentração para um poluente desejado dentro do domínio para os pontos receptores especificados de acordo com a US EPA (2023). A partir de uma ampla área de cobertura de fontes, a concentração e deposição de poluição é avaliada utilizando amplamente este modelo de dispersão e fornecidas para realizar a análise da qualidade do ar em um determinado período (Ahmed; Jaf, 2022).

Em condições convectivas, o AERMOD possui três tipos de plumas para fontes pontuais: componentes diretos e indiretos existentes na camada limite e penetrados para a camada estável. Uma desvantagem do modelo em certos casos é que o comportamento durante horas que antecedem a ruptura da inversão se repete em uma mistura prematura da pluma penetrada com o solo (Warren *et al.*, 2022).

Estudos comprovam que os modelos gaussianos superestimam significativamente as concentrações, especialmente durante condições atmosféricas calmas e estáveis, onde são registradas durante o intervalo de medição (Capelli; Sironi, 2018).

2.5 Benefícios da Modelagem Atmosférica

Para Bseibsu *et al.* (2022), a modelagem atmosférica é benéfica para planejamento de emergência e planejamento de capital. Pode ainda ser utilizada por empresas para construir ou modificar instalações industriais e revisar cenários de qualidade do ar para que o impacto ambiental possa ser quantificado e previsto. O cálculo da altura ideal de uma chaminé, gerenciamento das taxas de emissão

existentes, medição dos riscos, comparação e avaliação da influência da qualidade do ar e a preparação para situações de emergência são algumas prerrogativas que a modelagem pode viabilizar.

Com os modelos matemáticos é possível determinar as áreas mais apropriadas para instalação de futuros empreendimentos, possibilitando prever antecipadamente os impactos de poluentes verificando numerosos casos de emissão e dispersão mediante projetos futuros. Permitir avaliar os impactos do terreno na dispersão de poluentes também é notável, investigando quais regiões seriam mais afetadas bem como orientar a redução do impacto (Augusto *et al.*, 2020).

Os modelos gaussianos são amplamente utilizados por serem considerados relativamente menos complexos, simples de serem implementados e exigir menos recurso computacional quando comparados com modelos de escala global. Esses modelos são amplamente aceitos pelas agências reguladoras e continuam sendo em escala local uma ferramenta de resposta rápida para projetar sistemas de controle da poluição do ar, desenvolver regulamentações de qualidade do ar e avaliar o impacto ambiental de longo prazo a partir de um enorme conjunto de condições atmosféricas (Snoun; Krichen; Chérif, 2023).

2.6 Trabalhos relacionados

A poluição do ar também inclui compostos que causam mal cheiro e descobrir sua origem é uma tarefa complexa. Verificar se as concentrações de compostos modelados correspondem à percepção efetiva por humanos ou a possibilidade de medir em campo, tanto como forma de avaliar diretamente o incômodo são desafios destacados à modelagem atmosférica. Apesar de sua importância considerável na identificação da origem das emissões, carece de validação específica em campo a avaliação do melhor método de amostragem de emissão de poluentes (Capelli; Sironi, 2018).

Na literatura foram encontrados estudos apresentados na sequência, abordando a utilização do sistema AERMOD, bem como a criação de forma manual dos seus arquivos de entrada e o uso de ferramentas pagas com interface gráfica para apoiar a modelagem de dispersão atmosférica.

O estudo realizado por Macêdo e Ramos (2020) teve como objetivo realizar uma avaliação da poluição atmosférica veicular usando o modelo AERMOD na avenida de uma capital brasileira. O estudo mostrou que os valores de concentração

de monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio ultrapassaram os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela resolução CONAMA 491/2018. As dispersões dos poluentes atmosféricos foram favorecidas pelas condições meteorológicas e as simulações manifestaram que a qualidade do ar na região de estudo foi afetada consideravelmente pelos veículos.

Os arquivos de entrada do sistema AERMOD criados manualmente, podem motivar uma possível fonte de propagação de erros e um processo árduo. A pesquisa de Siahpour *et al.* (2022), expõe o uso e a definição dos arquivos de entrada de forma manual do AERMOD para estimar a distribuição dos poluentes PM₁₀, SO₂, NO_x e CO da usina térmica de Shazand, localizada no sudoeste da cidade de Arak no Irã. O estudo foi realizado no período de dezembro de 2019 até setembro de 2020 com distribuição das emissões durante o período de 8 horas e média anual modelados e comparados com padrões nacionais e internacionais de qualidade do ar da US EPA.

Como resultado, as concentrações medidas foram inferiores aos padrões nacionais e internacionais exceto SO₂. A concentração máxima de CO no intervalo de 8 horas foi de 0,15% do padrão nacional e internacional, indicando uma parcela menor de emissões em ambiente urbano. Os estudos demonstraram o desempenho apropriado do AERMOD na previsão e modelagem dos poluentes em comparação com os medidos.

Sairanen e Pursio (2020), também avaliaram o desempenho do AERMOD perto de fontes de poeira em uma pedreira com o apoio do software proprietário Breeze AERMOD. O objetivo do estudo foi comparar resultados modelados com concentrações medidas e a aplicabilidade para representar eventos de dispersão de poeira de curto prazo. A falta de dados meteorológicos no local fez com que o AERMOD não fosse capaz de prever a variação horária da concentração.

A comparação mostrou que as medições não mostraram mudanças significativas, enquanto que em variações nas condições climáticas o modelo reagiu mais intensamente. Os fatores de emissão determinados para perfuração na pedreira, necessitaram de mais pesquisas devido ao fato de terem superestimados ou subestimados a concentração de poeira no local. O modelo não foi capaz de prever o aumento da concentração de poeira durante o inverno causado pelas partículas de poeira que acabam permanecendo perto do solo. Em contrapartida, conseguiu prever bem a dispersão de poeira perto da fonte emissora durante o verão se tratando dos fatores de emissão para britagem. Contudo diante dos fatores, a modelagem se

demonstrou ser aplicável em condições meteorológicas instáveis para o tipo de fonte de emissão abordado na pesquisa.

O software proprietário AERMOD View da Lakes Environmental, foi aplicado por Stolfi *et al.* (2021), para estimar os níveis de manganês (Mn) na atmosfera próximo à refinaria de ferromanganês em Marietta no estado de Ohio nos Estados Unidos. O estudo foi realizado para os anos 2008-2013 e a comparação das concentrações modeladas com amostras medidas entre 2009 e 2010. O estudo mostrou durante o período de 6 anos que a população da área de Marietta foi exposta aos níveis de Mn que muitas vezes excederam as diretrizes da US EPA onde foram observados efeitos na saúde.

As comparações das concentrações medidas com as modeladas mensalmente, estavam dentro dos limites aceitáveis em todas as medidas de desempenho do modelo. O estudo encontrou limitações consideráveis como a qualidade dos dados de emissões relatados pela instalação e usados como dados do modelo garantindo a precisão da modelagem. Ainda assim, a modelagem AERMOD demonstrou-se um método viável para estimar a exposição das emissões nas proximidades de fontes industriais e estudos epidemiológicos de exposições ambientais ao Mn.

Existe uma plataforma *web* desenvolvida pelo Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 2024) disponível em: <https://hoinaski.prof.ufsc.br/>, onde tem como finalidade a automação dos arquivos de entrada dos sistemas AERMAP, AERMET e AERMOD. A ferramenta serve para auxiliar cientistas, órgãos ambientais e estudantes na execução do modelo com maior facilidade, porém existem algumas limitações.

No processo AERMAP o gerenciamento de arquivos topográficos TIF é limitado para 6 arquivos. O processo de definição das fontes emissoras é realizado através de planilhas em formato CSV dificultando a compreensão por parte do usuário. É obrigatório incluir um poluente por planilha fazendo com que o processo de definição das fontes emissoras se torne demorado.

No processo AERMET a aquisição do arquivo meteorológico de superfície é limitada apenas à uma plataforma meteorológica *Mesoscale Network* (MESONET, 2001), da Universidade Estadual de Ciência e Tecnologia de Iowa dos Estados Unidos, o que pode comprometer os arquivos de saída. A execução dos módulos AERMAP, AERMET e AERMOD são feitas pelo computador sendo necessário adquirir

os executáveis pela US EPA para realizar o processamento. A configuração dos arquivos de saída é realizada de forma automática pela plataforma não sendo possível o mesmo pelo usuário.

Os estudos encontrados não estão diretamente relacionados com o estudo proposto quanto ao desenvolvimento e validação de ferramentas de software para apoiar a modelagem. Com isso, acaba dificultando a realização da pesquisa por efeito de referências e não sendo suficientes para solucionar as lacunas abordadas. Entretanto, aborda o uso do sistema AERMOD e como ele é aplicado utilizando os recursos atuais. Nesse contexto, o estudo acaba tendo uma relevância considerável no auxílio da modelagem.

3 MODELAGEM DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA

Neste capítulo são apresentados os materiais, métodos e as características da área de estudo e seus dados de maior relevância. Na sequência são apresentadas as questões relacionadas ao tipo de fontes emissoras e seus dados que abrangem o inventário. Em seguida apresenta-se a descrição do processamento AERMAP, AERMET e AERMOD. O capítulo finaliza com o método para avaliar os dados dos arquivos gerados pelo software proposto com os gerados pelo software de referência.

3.1 Recursos computacionais

Para realizar esse estudo, foi utilizado um computador desktop com processador Intel Core 2 Duo, Windows 10, 8 GB de memória RAM, 500 GB de HD. As análises foram realizadas através do software AERMAP versão 180181, AERMET versão 22112 e AERMOD versão 22112.

O desenvolvimento do software foi realizado através da linguagem de programação C# .NET Framework 4.8 utilizando a plataforma Visual Studio Community 2022 e o banco de dados relacional MySQL 5.6.20.

Foi utilizado o software R versão 4.3.2 (R Core Team, 2024) para plotagem dos mapas a partir das concentrações geradas pelo sistema AERMOD e análise espacial dos dados. Utilizou-se o pacote gstat (Gräler; Pebesma; Heuvelink, 2016), raster (Hijmans, 2024), rstudioapi (Ushey *et al.*, 2022), sp (Bivand; Pebesma; Gomez-Rubio, 2013), sf (Pebesma; Bivand, 2023), ggplot2 (Wickham, 2016) e ggspatial (Dunnington, 2023) para a plotagem dos mapas. Para calcular o índice Kappa ponderado recorreu-se ao pacote vcd (Meyer *et al.*, 2023).

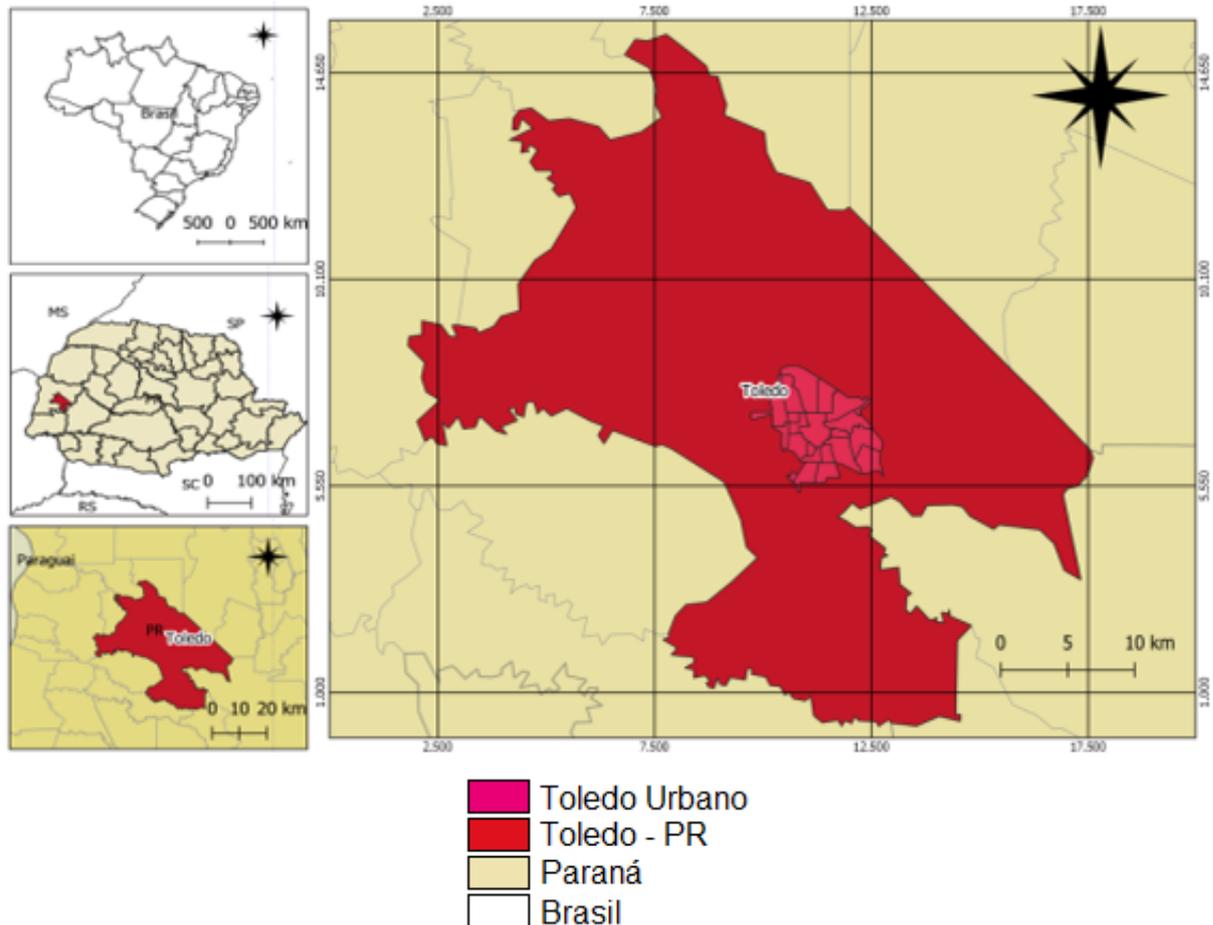
O software proposto é encarregado em executar em segundo plano um algoritmo de forma automática para criar gráficos post-plots, proporcionando a visualização dos resultados gerados através de mapas geográficos.

3.2 Inventário

O inventário foi constituído com as principais fontes pontuais de emissão do município e região de Toledo-PR, ilustrado na Figura 1. O município está localizado na região oeste do estado do Paraná, Brasil possuindo uma área territorial de 1.198,049 km² e uma população de aproximadamente 150 mil habitantes declarado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). Os dados das fontes

emissoras foram adquiridos através do IBAMA sendo composto com dados específicos para cada fonte de emissão, incluindo código de identificação, descrição, coordenadas, altitude, tipo de fonte, poluentes, taxa de emissão, período e parâmetros específicos da chaminé.

Figura 1 – Mapa da localização de Toledo – PR



Fonte: Adaptado de Da Silva *et al.* (2024)

Para a realização das simulações foram utilizadas treze fontes emissoras do município e região de Toledo-PR, conforme apresenta o Quadro 1. Os poluentes PM_{10} , CO e NO_x , foram utilizados conforme a fonte emissora mencionada para cada simulação realizada. As simulações foram realizadas entre 2019 e 2021 contendo dois períodos de seis meses por ano. O primeiro é composto por (Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio e Junho) e o segundo por (Julho, Agosto, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro). A taxa de emissão de cada poluente foi obtida através da Equação 2. A unidade de medida da taxa de emissão do inventário está em toneladas por ano e foi convertido para gramas por segundo como recomenda o modelo.

Quadro 1 – Fontes emissoras

Código	Fonte
F01	BRF S/A
F02	CARGILL ALIMENTOS LTDA
F03	DE HEUS INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE NUTRIÇÃO ANIMAL LTDA
F04	TECTRON IMPORTADORA E EXPORTADORA DE PRODUTOS VETERINÁRIOS LTDA
F05	HUMUSFERTIL PRODUTOS PARA JARDINAGEM EIRELI
F06	BOMBONATTO IND. E COM. DE COUROS LTDA
F07	COMPENSADOS CIDADE ALTA LTDA
F08	VACCINAR INDUSTRIA E COMERCIO LTDA
F09	VIFRAN FABRICA E COMÉRCIO DE MÓVEIS LTDA - ME
F10	COMERCIAL AGRICOLA TOLEDO LTDA - FINO ALIMENTOS
F11	PRATI DONADUZZI E CIA LTDA
F12	COPACOL COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL CONSOLATA
F13	TECNURBE MANEJO E LOGISTICA DE RESIDUOS LTDA

Fonte: IBAMA (2020)

$$TEG = (TEA * 0.0316857) \quad (2)$$

Em que:

TEG: representa a taxa de emissão do poluente em gramas por segundo;

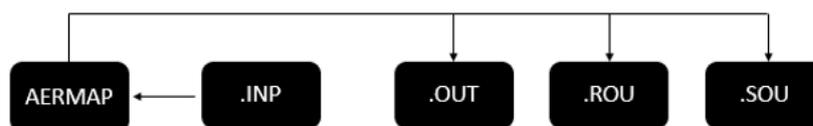
TEA: representa a taxa de emissão do poluente em toneladas por ano.

A taxa de emissão convertida para gramas por segundo foi aplicada para os dois períodos de cada ano e poluente, possibilitando analisar a variabilidade entre os períodos (seco / chuvoso) ou (inverno / verão).

3.3 AERMAP

A Figura 2 detalha o sistema AERMAP responsável pelo processamento dos arquivos topográficos, terreno, definição do domínio e grade de modelagem através dos pontos receptores onde serão calculadas as concentrações. Os elementos reportados são definidos em um arquivo de entrada exigido pelo módulo. Após a execução do modelo é gerado três arquivos de saída: AERMAP.OUT, AERMAP.ROU e AERMAP.SOU.

Figura 2 – Fluxograma AERMAP



Fonte: Autoria própria (2024)

3.3.1 Arquivo de entrada INP

O AERMAP possui um arquivo de entrada editável do tipo texto com extensão INP, que precisa ser configurado para executar o pré-processador. Dentro do arquivo é necessário configurar o título do arquivo TITLEONE e a descrição do arquivo topográfico da região para simulação DATAFILE. O arquivo topográfico `srtm_26_17.tif` da região do estudo, foi obtido através de uma base de dados topográfica *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM, 2004) do site <https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>. A palavra-chave DOMAINXY foi definida pelo domínio de modelagem através das coordenadas inferiores esquerda e superiores direita em *Universal Transversa de Mercator* (UTM), zona UTM -22 e fuso horário 3 em *Greenwich Mean Time* (GMT) como segue na Figura 3.

Figura 3 – Definição do arquivo topográfico e domínio de modelagem

```
*****
** AERMAP Control Pathway
*****
**
CO STARTING
  TITLEONE Trabalho AERMOD
  TITLETWO Inputs arquivo TIF
  TERRHGTS EXTRACT
CO DATATYPE NED FILLGAPS
CO DATAFILE srtm_26_17.tif
  DOMAINXY 207434.840 7250701.870 -22 233349.710 7272521.280 -22
  ANCHORXY 0.0 0.0 0.0 0.0 -22 3
  RUNORNOT RUN
CO FINISHED
```

Fonte: A autoria própria (2024)

A Figura 4 ilustra a definição do parâmetro LOCATION através do código de identificação da fonte, tipo da fonte pontual e coordenadas longitude e latitude em UTM para a realização do processo de cálculo da altitude das fontes emissoras. A altitude da fonte é utilizada no arquivo de entrada no processador principal AERMOD. Os tipos de fonte mais utilizados no módulo são caracterizados por: pontuais, volume, área, área polígono, área círculo, poço aberto e linha.

Figura 4 – Definição das fontes emissoras

```

*****
** AERMAP Receptor Pathway
*****
**
**
SO STARTING
LOCATION 1 POINT 223388.158 7259860.793
LOCATION 2 POINT 226527.240 7264196.760
LOCATION 3 POINT 217568.680 7260176.570
LOCATION 4 POINT 226556.730 7260741.690
LOCATION 5 POINT 220542.940 7256701.870
LOCATION 6 POINT 217691.610 7260127.890
LOCATION 7 POINT 227125.440 7260495.800
LOCATION 8 POINT 227349.710 7258882.730
LOCATION 9 POINT 223516.320 7261626.860
LOCATION 10 POINT 213434.840 7266521.280
LOCATION 11 POINT 220739.610 7263409.740
LOCATION 12 POINT 227155.260 7262952.200
LOCATION 13 POINT 222962.670 7265131.570

SO FINISHED

```

Fonte: Autoria própria (2024)

Fontes do tipo ponto são representadas por fontes fixas que possuem chaminé representada pelos seguintes parâmetros: taxa de emissão em gramas por segundo (QS), altura da chaminé em metros (HS), temperatura de saída dos gases em Kelvin (TS), velocidade de saída dos gases em metros por segundo (VS) e diâmetro da chaminé em metros (DS).

Fontes do tipo volume são representadas por uma variedade de fontes industriais tais como: aberturas de ventilação no telhado, janelas e portas abertas de edifícios industriais, pontos de transferência de correias transportadoras, operações de carregamento e estradas de transporte. Possui os seguintes parâmetros: taxa de emissão de volume em gramas por segundo (Vlemis), altura de liberação (centro do volume) acima do solo em metros (Relhgt), dimensão lateral inicial do volume em metros (Syinit) e dimensão vertical inicial do volume em metros (Szinit).

Fontes do tipo área são usadas para modelar liberações de baixo nível ou ao nível do solo sem aumento de pluma por exemplo: pilhas de armazenamento, depósitos de escória e lagoas. Esse tipo de fonte segue os seguintes parâmetros: taxa de emissão da área em gramas por segundo por metro quadrado (Aremis), altura de liberação acima do solo em metros (Relhgt), comprimento do lado X da área (na direção leste-oeste se o ângulo for 0 graus) em metros (Xinit), comprimento do lado Y da área (na direção norte-sul se o ângulo for 0 graus) em metros sendo parâmetro opcional (Yinit), ângulo de orientação para a área retangular em graus a partir do norte,

medido positivo no sentido horário sendo parâmetro opcional (Angle) e dimensão vertical inicial da pluma em metros (Szinit).

Fontes do tipo área polígono são usadas para especificar uma fonte de área como um polígono de formato arbitrário entre 3 e 20 lados fornecendo ao usuário flexibilidade considerável para especificar a forma de uma fonte de área. É representado pelos seguintes parâmetros: taxa de emissão da área em gramas por segundo por metro quadrado (Aremis), altura de liberação acima do solo em metros (Relhgt), número de vértices (ou lados) do polígono de origem da área (Nverts) e dimensão vertical inicial da pluma em metros sendo opcional (Szinit). Tal como acontece com as fontes do tipo área, a taxa de emissão da fonte é uma taxa de emissão por unidade de área, que é diferente das taxas de emissão da fonte pontual e volumétrica, que são as emissões totais da fonte. As localizações dos vértices são especificadas pelo uso da palavra-chave AREAVERT, que se aplica apenas a fontes do tipo área polígono através de um conjunto de coordenadas X e Y.

Fontes do tipo área círculo podem ser usadas para especificar uma origem de área como uma forma circular. O modelo gera automaticamente um polígono regular de até 20 lados para aproximar a fonte da área circular. O polígono terá a mesma área especificada para o círculo. Possui os seguintes parâmetros: taxa de emissão da área em gramas por segundo por metro quadrado (Aremis), altura de liberação acima do solo em metros (Relhgt), raio da área circular em metros (Radius), número de vértices (ou lados) do polígono de origem da área, caso omitido, 20 lados serão usados de forma automática (Nverts) e dimensão vertical inicial da pluma em metros sendo opcional (Szinit).

Fontes do tipo poço aberto servem para representar emissões de cavas de escavação em minas de exploração mineral. Aceita poços retangulares com um ângulo de rotação opcional especificado em relação a uma orientação norte-sul e o vértice usado para definir a localização de origem da fonte emissora. O tipo é representado pelos seguintes parâmetros: taxa de emissão em gramas por segundo por metro quadrado (Opemis), altura média de liberação acima da base do poço em metros (Relhgt), comprimento do lado X do poço aberto (na direção leste-oeste se o ângulo for 0 graus) em metros (Xinit), comprimento do lado Y do poço aberto (na direção norte-sul se o ângulo for 0 graus) em metros (Yinit), volume do poço aberto em metros cúbicos (Pitvol) e ângulo de orientação em graus a partir do norte, medido positivo no sentido horário, sendo opcional (Angle).

Fontes do tipo linha podem ser representadas por uma estrada percorrida com faixas de tráfego únicas ou múltiplas. É usada para modelar liberações próximas à superfície de fontes móveis possuindo os seguintes parâmetros: taxa de emissão em gramas por segundo por metro quadrado (Lnemis), altura média de liberação acima da base do nível do solo em metros (Relhgt), largura da fonte em metros com largura mínima de 1 metro (Width) e dimensão vertical inicial da pluma em metros sendo opcional (Szinit).

O parâmetro GRIDCART é responsável pela configuração da grade de modelagem de receptores. Na Figura 5 onde observa-se que foi estabelecido uma grade cartesiana uniforme pelo parâmetro XYINC com 40 colunas por 40 linhas, espaçados em 500 metros. Representa uma área quadrada de 20 km com total de 1600 receptores, espaçados uniformemente ao longo do domínio a partir da coordenada inferior esquerda.

Figura 5 – Configuração da grade de modelagem cartesiana

```
*****
** AERMAP Receptor Pathway
*****
**
**
RE STARTING
  GRIDCART CART1 STA
                XYINC 208434.840 40 500 7251701.870 40 500
                CART1 END
RE FINISHED
```

Fonte: Aatoria própria (2024)

O módulo permite a configuração de grades do tipo cartesiana uniforme, cartesiana discreta, polar e polar discreta. Os receptores em grade polar, não são muito comuns em aplicações no Brasil e assim sendo, não foram implementados no software proposto. Os Quadros entre 2 e 11 apresentam a sintaxe e parâmetros de acordo com o tipo de grade.

Quadro 2 – Sintaxe da grade cartesiana

Código	Sintaxe					
GRIDCART				Netid		
XYINC ou	Xinit	Xnum	Xdelta	Yinit	Ynum	Ydelta
XPNTS	Gridx1	Gridx2		Gridx3	Gridxn	
YPNTS	Gridy1	Gridy2		Gridy3	Gridyn	
ELEV	Row	Zelev1		Zelev2	Zelevn	
FLAG	Row	Zflag1		Zflag2	Zflagn	

Fonte: Manual AERMAP US EPA (2018)

Quadro 3 – Parâmetros da grade cartesiana

Código	Parâmetro
GRIDCART	Chave de identificação do modelo
Netid	Código de identificação da rede receptora (até oito caracteres alfanuméricos)
XYINC	Identifica rede de grade uniforme gerada a partir de incrementos x e y
Xinit	Localização inicial da grade do eixo x em metros
Xnum	Número de receptores do eixo x
Xdelta	Espaçamento em metros entre os receptores do eixo x
Yinit	Localização inicial da grade do eixo y em metros
Ynum	Número de receptores do eixo y
Ydelta	Espaçamento em metros entre os receptores do eixo y
XPNTS	Identificação definida por uma série de coordenadas x e y discretos
Gridx1	Valor da primeira coordenada x
Gridxn	Valor da enésima coordenada x
YPNTS	Identificação definida por uma série de coordenadas x e y discretos
Gridy1	Valor da primeira coordenada y
Gridyn	Valor da enésima coordenada y
ELEV	Especifica as elevações dos receptores (opcional)
Row	Indica qual linha (coordenada y) está sendo inserida
Zelev	Uma matriz de elevações de terreno em metros para uma linha específica
FLAG	Especifica as alturas dos receptores (opcional)
Row	Indica qual linha (coordenada y) está sendo inserida
Zflag	Uma matriz de alturas de receptores em metros acima da elevação do terreno local

Fonte: Manual AERMAP US EPA (2018)

Quadro 4 – Sintaxe da grade polar

Código	Sintaxe			
GRIDPOLR	Netid			
ORIG ou	Xinit	Yinit		
ORIG ou	Srcid			
DIST	Ring1	Ring2	Ring3	Ringn
DDIR ou	Dir1	Dir2	Dir3	Dirn
GDIR	Dirnum	Dirini	Dirinc	
ELEV	Dir	Zelev1	Zelev2	Zelevn
FLAG	Dir	Zflag1	Zflag2	Zflagn

Fonte: Manual AERMAP US EPA (2018)

Quadro 5 – Parâmetros da grade polar

Código	Parâmetro
GRIDPOLR	Chave de identificação do modelo
Netid	Código de identificação da rede receptora (até oito caracteres alfanuméricos)
ORIG	Especifica a origem da rede polar (opcional)
Xinit	Coordenada x para origem da rede polar
Yinit	Coordenada y para origem da rede polar
Srcid	ID de origem da fonte usada como origem da rede polar
DIST	Especifica distâncias para a rede polar
Ring1	Distância ao primeiro anel de coordenadas polares
Ringn	Distância ao enésimo anel de coordenadas polares
DDIR	Especifica radiais de direção discreta para a rede polar
Dir1	Primeira direção radial em graus (1 a 360)
Dirn	A enésima direção radial em graus (1 a 360)
GDIR	Especifica radiais de direção gerados para a rede polar

Dirnum	Número de direções usadas para definir o sistema polar
Dirini	Direção inicial do sistema polar
Dirinc	Incremento (em graus) para definir direções
ELEV	Especifica as elevações do receptor (opcional)
Dir	Indica qual direção está sendo inserida
Zelev	Uma matriz de elevações de terreno receptor para uma direção radial específica
FLAG	Especifica as alturas do receptor (opcional)
Dir	Indica qual direção está sendo inserida
Zflag	Uma série de alturas de receptores acima da elevação local do terreno

Fonte: Manual AERMAP US EPA (2018)

Além dos modelos citados anteriormente, também é possível especificar receptores discretos para modelagem de impactos em locais específicos de interesse como mostra os Quadros entre 6 e 11. Podem ser usados para modelar receptores críticos ou específicos, geralmente são acrescentados nas simulações para se avaliar as concentrações em pontos como escolas, postos de saúde, hospitais etc.

Quadro 6 – Sintaxe da grade cartesiana discreta

Sintaxe				
DISCCART	Xcoord	Ycoord	Zelev	Zflag

Fonte: Manual AERMAP US EPA (2018)

Quadro 7 – Parâmetros da grade cartesiana discreta

Código	Parâmetro
DISCCART	Chave de identificação do modelo
Xcoord	Coordenada do eixo x
Ycoord	Coordenada do eixo y
Zelev	Elevação opcional do terreno em metros
Zflag	Altura opcional do receptor acima do solo em metros

Fonte: Manual ERMAPP US EPA (2018)

A grade cartesiana discreta para saída EVALFILE é utilizada para definir localizações discretas de receptores cartesianos semelhantes à grade cartesiana discreta, mas também permite o agrupamento de receptores conforme o Quadro 8.

Quadro 8 – Sintaxe da grade cartesiana discreta para saída EVALFILE

Sintaxe						
EVALCART	Xcoord	Ycoord	Zelev	Zflag	Arcid	Nome

Fonte: Manual AERMAP US EPA (2018)

Quadro 9 – Parâmetros da grade cartesiana discreta para saída EVALFILE

Código	Parâmetro
EVALCART	Chave de identificação do modelo
Xcoord	Coordenada do eixo x
Ycoord	Coordenada do eixo y
Zelev	Elevação do terreno em metros
Zflag	Altura do receptor acima do solo em metros
Arcid	É a identificação de agrupamento de receptores, que pode ter até oito caracteres
Name	Campo de nome opcional que pode ser incluído para identificar uma localização

Fonte: Manual AERMAP US EPA (2018)

Quadro 10 – Sintaxe da grade polar discreta

Sintaxe					
DISCPOLR	Srcid	Dist	Direct	Zelev	Zflag

Fonte: Manual AERMAP US EPA (2018)

Quadro 11 – Parâmetros da grade polar discreta

Código	Parâmetro
DISCPOLR	Chave de identificação do modelo
Srcid	Identificação alfanumérica da fonte definida no modelo
Dist	Distância em metros
Direct	Direção em graus medidos no sentido horário e partir do norte
Zelev	Elevação opcional do terreno em metros
Zflag	Altura opcional do receptor acima do solo em metros

Fonte: Manual AERMAP US EPA (2018)

A Figura 6 exemplifica a configuração dos arquivos de saída do AERMAP. O arquivo de receptores AERMAP.ROU é determinado pelo parâmetro RECEPTOR. A palavra-chave SOURCLOC, corresponde ao arquivo de fontes emissoras AERMAP.SOU abrangendo de forma automática pelo pré-processador a altitude de cada fonte a partir do processamento do arquivo topográfico.

Figura 6 – Configuração dos arquivos de saída

```
*****
** AERMAP Output Pathway
*****
**
OU STARTING
   RECEPTOR  AERMAP.ROU
   SOURCLOC   AERMAP.SOU
OU FINISHED
```

Fonte: Autoria própria (2024)

3.3.2 Arquivo de saída OUT

O arquivo de saída AERMAP.OUT gerado pelo AERMAP inclui o log de execução. O conteúdo do arquivo consta com possíveis mensagens de erros fatais, avisos e mensagens informativas ilustradas na Figura 7. Ao final do arquivo é criado um resumo com o total de mensagens por categoria e a mensagem de execução concluída com ou sem sucesso.

Figura 7 – Arquivo de saída AERMAP.OUT

```

----- Summary of Total Messages -----

A Total of          0 Fatal Error Message(s)
A Total of          3 Warning Message(s)
A Total of          0 Informational Message(s)

***** FATAL ERROR MESSAGES *****
*** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****
OU W450    60 NEDCHK:Parameter not found in TIFF file.  TiffTag:          274
OU W470    60 NEDCHK:Unexpected datum for NED file encountered:      WGS84
OU W473    60 NEDCHK:Default elevation units of METERS used; NED file:  1

*****
*** AERMAP Finishes Successfully ***
*****

```

Fonte: Autoria própria (2024)

3.3.3 Arquivo de saída ROU

A Figura 8 apresenta o arquivo de saída AERMAP.ROU, possuindo altitude e a grade cartesiana com as coordenadas estabelecidas em cada ponto receptor. Cada receptor representa uma coordenada na grade onde é calculado a concentração.

Figura 8 – Arquivo de saída AERMAP.ROU

```

RE ELEVUNIT METERS
GRIDCART CART01 STA
XYINC 208329.126 40 500 7251703.871 40 500
GRIDCART CART01 ELEV 1 494.6 519.9 519.9 542.3 514.8 503.6
GRIDCART CART01 ELEV 1 509.8 512.1 488.9 486.4 487.5 479.3
GRIDCART CART01 ELEV 1 470.7 478.6 483.2 495.4 512.5 524.3
GRIDCART CART01 ELEV 1 552.7 570.9 561.5 558.4 534.2 528.8
GRIDCART CART01 ELEV 1 509.1 510.8 534.3 543.2 555.5 543.2
GRIDCART CART01 ELEV 1 517.4 541.0 554.2 575.5 567.5 532.5

```

Fonte: Autoria própria (2024)

3.3.4 Arquivo de saída SOU

O arquivo de saída AERMAP.SOU, possui a chave de identificação das fontes emissoras, seu tipo, coordenadas e altitude gerado de forma automática pelo sistema AERMAP demonstrado na Figura 9.

Figura 9 – Arquivo de saída AERMAP.SOU

SO	ELEVUNIT	METERS			
SO LOCATION	1	POINT	223388.16	7259860.79	515.48
SO LOCATION	2	POINT	226527.24	7264196.76	563.15
SO LOCATION	3	POINT	217568.68	7260176.57	457.65
SO LOCATION	4	POINT	226556.73	7260741.69	565.06
SO LOCATION	5	POINT	220542.94	7256701.87	474.23
SO LOCATION	6	POINT	217691.61	7260127.89	465.69

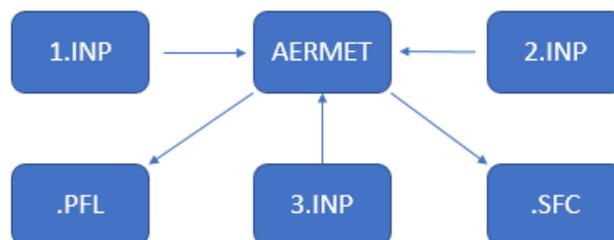
Fonte: Autoria própria (2024)

Todas as instruções utilizadas para a configuração do arquivo de entrada do pré-processador AERMAP, foram obtidas através do manual do usuário disponível pela US EPA (2018).

3.4 AERMET

O sistema AERMET demonstrado na Figura 10 é responsável pelo processamento dos dados meteorológicos de superfície e altitude da região de estudo como: temperatura, cobertura de nuvens, pressão, ponto de orvalho, velocidade e direção do vento. Na versão utilizada na pesquisa V22112, o pré-processador é composto por três arquivos de entrada INP. Estes arquivos precisam ser configurados para execução do sistema AERMET. Cada arquivo INP precisa ser executado de forma individual e como resultado é gerado dois arquivos de saída: AERMET.PFL e AERMET.SFC.

Figura 10 – Fluxograma AERMET



Fonte: Autoria própria (2024)

3.4.1 Arquivo de entrada INP 1

No arquivo editável do tipo texto AERMET_1.INP, precisa ser definido o arquivo de radiossondagem, que para o estudo de caso é representado por FOZ.FSL, sendo um arquivo de perfil vertical para estimar altura e turbulência ilustrado na Figura 11. Esse arquivo foi obtido através de um banco de dados de radiossondagem disponível pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2022) no site <https://ruc.noaa.gov/raobs/>. A plataforma disponibiliza dados dos principais aeroportos de todos os países. O arquivo de Foz do Iguaçu-PR foi o mais próximo da região de estudo encontrado no site, cerca de 155 km de distância. Para uma modelagem mais eficaz e precisa, a estação meteorológica de superfície e altitude precisam estar dentro do domínio de modelagem até 50 km a partir do centro do domínio como indicado pelo AERMOD. Nesse caso, teoricamente não poderia utilizar para fazer uma modelagem e submeter para um órgão ambiental, pois não seria aceito. Para fins de pesquisa, foi utilizado para mostrar a viabilidade para fazer a importação dos arquivos. Dessa forma, isso foi possível tendo como demonstração o propósito. Outra opção para solucionar o problema citado seria utilizar modelos meteorológicos para a extração dos dados.

A palavra-chave XDATES representada pelo intervalo do período, também precisa ser definida para extração dos arquivos. Para a estação meteorológica, precisa definir o código da estação, latitude, longitude e fator de conversão para horário local.

Figura 11 – Configuração do arquivo de radiossondagem

```
*****
** UPPERAIR - Extração dos dados meteorológicos de altitude
*****
**
UPPERAIR
** Indicação do arquivo de entrada bem como sua extensão - Dados meteorológicos de altitude **
DATA      FOZ.FSL FSL
** Extração dos dados **
EXTRACT   EXTRACT_UA.IQA
** Avaliação da qualidade dos dados - Preparando arquivo de entrada do Estágio 2 **
QAOUT     QAOUT_UA.OQA
** Definição do intervalo de tempo para extração **
XDATES     2019/01/01 TO 2019/06/30
** Informações da estação meteorológica: ID - Latitude - Longitude - Fator de conversão para horário local - Altitude**
LOCATION    83827 25.525  54.58W 0
```

Fonte: Autoria própria (2024)

Os dados adquiridos pelo site são copiados para um arquivo texto e salvo no formato FSL como mostra a Figura 12. O arquivo é gerado conforme o período desejado da estação meteorológica de altitude. Esses dados fornecem informações sobre a estrutura vertical da atmosfera e são usados para calcular alturas de mistura convectiva no arquivo INP do módulo.

Figura 12 – Arquivo de radiossondagem

254	0	1	JAN	2019		
1	99999	83827	25.52S	54.58W	243	2330
2	1000	0	1260	87	11	0
3		SBFI			99999	ms
9	9800	243	300	240	30	26
4	10000	63	99999	99999	99999	99999
5	9630	398	308	228	99999	99999
6	9415	600	99999	99999	115	57
6	9370	642	99999	99999	115	57
4	9250	758	288	208	110	72

Fonte: Autoria própria (2024)

Outro arquivo a ser definido no arquivo de entrada é o SAMSOM.SAM apresentado na Figura 13. Ele possui os dados meteorológicos de superfície horária do período de estudo. Possui dados como: radiação solar, cobertura total de nuvens, temperatura de bulbo seco, umidade relativa, precipitação, direção e velocidade do vento.

Figura 13 – Configuração do arquivo meteorológico

```
*****
** SURFACE - Extração dos dados meteorológicos de superfície
*****
SURFACE
** Indicação do arquivo de entrada bem como sua extensão - Dados meteorológicos de superfície **
DATA      SAMSON.SAM SAMSON
** Extração dos dados **
EXTRACT   EXTRACT_SF.IQA
** Avaliação da qualidade dos dados - Preparando arquivo de entrada do Estágio 2 **
QAOUT     QAOUT_SF.OQA
** Definição do intervalo de tempo para extração **
XDATES     2019/01/01 TO 2019/06/30
** Informações da estação meteorológica: ID - Latitude - Longitude - Fator de conversão para horário local - Altitude **
LOCATION    00820 24.53S  54.01W 0 392
```

Fonte: Autoria própria (2024)

O arquivo com dados meteorológicos no formato CSV foi adquirido pelo banco de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 1992) disponível no site <https://bdmep.inmet.gov.br/>. A plataforma gera uma planilha em

excel com os dados meteorológicos conforme Figura 14. Esses dados são utilizados para montar o arquivo SAMSOM.SAM ilustrado na Figura 15. Os dados foram coletados da estação meteorológica do município de Marechal Cândido Rondon-PR, sendo a mais próxima da região de estudo da pesquisa.

Figura 14 – Arquivo meteorológico INMET

Nome: MAL. CANDIDO RONDON			
Codigo Estacao: A820			
Latitude: -24.53333333			
Longitude: -54.01916666			
Altitude: 392.07			
Situacao: Operante			
Data Inicial: 2019-01-01			
Data Final: 2022-01-01			
Periodicidade da Medicao: Horaria			
Data Medicao	Hora Medicao	PRECIPITACAO TOTAL, HORARIO(mm)	PRESSAO ATMOSFERICA AO NIVEL DA ESTACAO, HORARIA(mB)
01/01/2019	0	0	964,1
01/01/2019	100	0	964,8
01/01/2019	200	0	965,1
01/01/2019	300	0	964,7

Fonte: Autoria própria (2024)

A criação do arquivo SAMSOM.SAM representado na Figura 15, é realizada manualmente utilizando um editor de texto. Cada coluna do arquivo CSV representa uma variável no formato SAM. Os detalhes de cada variável, quantidade de caracteres e valores padrões são encontrados no guia do usuário do software *Wind Rose Plots for Meteorological Data (WRPLOT View, 2018)* da empresa *Lakes Environmental Software*, disponível em: <https://www.weblakes.com/software/freeware/wrplot-view/>.

Figura 15 – Arquivo meteorológico SAMSOM.SAM

```

~00820 MAL. CANDIDO RONDON PR 0 524 53 W054 01 392
~YR MO DA HR I 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
19 01 01 00 0 9999 9999 0000 ?0 9999 ?0 9999 ?0 02 02 025.2 021.4 080 0965 219 001.5 99999. 999999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
19 01 01 01 0 9999 9999 0000 ?0 9999 ?0 9999 ?0 02 02 024.8 021.5 082 0964 198 002.4 99999. 999999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
19 01 01 02 0 9999 9999 0000 ?0 9999 ?0 9999 ?0 02 02 024.7 021.1 080 0964 200 002.9 99999. 999999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
19 01 01 03 0 9999 9999 0000 ?0 9999 ?0 9999 ?0 03 03 023.7 020.9 085 0964 220 002.2 99999. 999999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
19 01 01 04 0 9999 9999 0000 ?0 9999 ?0 9999 ?0 03 03 023.7 020.9 084 0964 204 002.8 99999. 999999 999999999 9999 99999. 9999 999 0

```

Fonte: Autoria própria (2024)

Os Quadros 12 e 13 apresentam os códigos e as definições de cada variável existente no arquivo SAM. A criação desse arquivo é complexa devido à importância de cada caractere, o que pode ocasionar erro no processo de execução do módulo. Caso exista dados faltantes, cada variável possui um indicador de ausência que deve ser preenchido conforme o manual do usuário do software WRPLOT View. Outro

ponto importante é que os dados do INMET estão em *Greenwich Mean Time* (GMT) e precisam ser convertidos para hora local em *Universal Time Coordinated* (UTC). Para essa conversão é necessário subtrair 3 horas do horário. Um exemplo seria um registro de 9 horas em GMT convertido para 6 horas no horário local. Essa conversão de horas depende do local que está sendo realizado a modelagem.

Quadro 12 – Formato do cabeçalho do arquivo SAMSOM

Coluna	Definição
001	Indica um registro de cabeçalho
002-006	Identificador do número da estação
008-029	Cidade onde fica a estação
031-032	Estado onde a estação está localizada
033-036	Fuso horário
039-044	Latitude N da estação = hemisfério norte, S = hemisfério sul Graus Minutos
047-053	Longitude da estação W = oeste, E = leste Graus Minutos
056-059	Elevação da estação em metros acima do nível do mar

Fonte: Manual do usuário (WRPLOT View, 2018)

Quadro 13 – Formato do corpo do arquivo SAMSOM

Coluna	Definição	Valor	Unidades	Indicador Ausente
Cabeçalho	Ano	1-12		
002-003	Mês	1-31		
005-006	Dia	1-24		
008-009	Horas			
011-012	Indicador de observação			
1 (014-017)	Radiação horizontal extraterrestre	0-1415	Wh/m ²	
2 (019-022)	Radiação normal direta extraterrestre	0-1415	Wh/m ²	
3 (024-027)	Radiação horizontal global (solar)	0-1415	Wh/m ²	9999
029-029	Valor dos dados	A-H, ?		
030-030	Sinalizador para fonte de dados	0-9		
4 (032-035)	Radiação normal direta	0-1415	Wh/m ²	9999
037-037	Valor dos dados	A-H, ?		
038-038	Sinalizador para fonte de dados	0-9		
5 (040-043)	Radiação horizontal difusa	0-1415	Wh/m ²	9999
045-045	Valor dos dados	A-H, ?		
046-046	Sinalizador para fonte de dados	0-9		
6 (048-049)	Cobertura total de nuvens	0-10	Décimos	99
7 (051-052)	Cobertura de nuvens opacas	0-10	Décimos	99
8 (054-058)	Temperatura de bulbo seco	-70 até 60	Graus Celsius	9999.
9 (060-064)	Temperatura do ponto de orvalho	-70 até 60	Graus Celsius	9999.
10 (066-068)	Umidade relativa	0-100	%	999
11 (070-073)	Pressão da estação	700-1100	Milibares	9999
12 (075-077)	Direção do vento	0-360	Graus	999
13 (078-082)	Velocidade do vento	0.0-99.0	Metros/seg.	9999.
14 (083-088)	Visibilidade	0.0-160.9	Km	99999.
15 (089-094)	Altura do teto (CLT)	0-30450	Metros	999999
16 (097-105)	Tempo atual	0-9	Dígitos numéricos	
17 (106-109)	Água precipitável	0-100	Milímetros	9999
18 (110-115)	Profundidade óptica de aerossol de	0.0-0.900		99999.

	banda larga			
19 (116-119)	Profundidade da neve	0-100	Centímetros	9999
20 (120-122)	Nº de dias desde última queda de neve	0-88	Nº de dias	999
21 (124-129)	Qtd de precipitação horária	0-99999	Polegadas e Centésimos	
130-130	Bandeira de precipitação horária			

Fonte: Manual do usuário (WRPLOT View, 2018)

A variável (Radiação horizontal global solar) do arquivo gerado pelo INMET precisa ser convertida de quilojoule por metro quadrado para watts por hora por metro quadrado para o arquivo SAM da coluna 3, conforme Equação 3. O arquivo INMET também não disponibiliza o valor para a coluna 6 (Cobertura total de nuvens) e coluna 7 (Cobertura de nuvens opacas). Com base na Equação 4 é possível estimar esses valores através da umidade relativa.

$$VLR = \left(\frac{RHG}{3.6} \right) \quad (3)$$

Em que:

VLR: representa o valor convertido para a unidade de medida aceita pelo arquivo;
RHG: representa o valor da radiação horizontal global (solar).

$$CC = 1 - \left(\sqrt{\left(\frac{1 - \left(\frac{UR}{100} \right)}{1 - 0.7} \right)} \right) \quad (4)$$

Em que:

CC: representa cobertura de nuvens;
UR: umidade relativa.

Se a umidade relativa for igual a 99, a variável CC recebe 10, se a variável for menor que 0 a variável recebe 0, caso contrário a variável recebe o número inteiro. O resultado da variável é atribuído para as colunas 6 e 7 do arquivo SAM.

O arquivo do INMET disponibiliza o valor de precipitação em milímetros e por meio da Equação 5 é possível obter o valor de precipitação horária em polegadas e centésimos representado pela coluna 21 do arquivo SAM.

$$PP = (PM * 0.0393701) * 100 \quad (5)$$

Em que:

PP: representa o valor da precipitação em polegadas e centésimos;

PM: representa o valor da precipitação em milímetros.

O banco de dados meteorológicos (MESONET, 2001), também possibilita através do seu arquivo gerar o arquivo SAM. Um ponto negativo para esse arquivo é que os dados de precipitação não estão disponíveis para locais fora dos Estados Unidos, o que fez prevalecer a escolha do banco de dados meteorológicos do INMET para a modelagem do local de estudos.

Como as simulações foram realizadas por períodos, a precipitação foi um fator importante para avaliar a questão meteorológica de um período para outro, por exemplo período seco e chuvoso ou inverno e verão.

A coluna de velocidade do vento SKNT do arquivo MESONET está em nós e precisa ser feito a conversão para metros por segundo aceito pelo arquivo SAM através da Equação 6.

$$VM = (VN * 0.5144) \quad (6)$$

Em que:

VN: representa o valor da velocidade do vento em nós;

VM: representa o valor da velocidade do vento em metros por segundo.

Existe um peso atribuído para as colunas: altitude ao nível do céu (SKYL1, SKYL2, SKYL3) e cobertura ao nível do céu (SKYC1, SKYC2, SKYC3) representado na Tabela 2.

Tabela 2 – Atribuição de pesos para altitude e cobertura ao nível do céu

Descrição	Peso
CLR	0
FEW	1
SCT	3
BKN	6
OVC	8
NSC	99
VV	99
VVaaa	99
///	99

Fonte: Manual do usuário MESONET (2024)

A coluna de altitude ao nível do céu SKYL está em pés sendo necessário a conversão para metros conforme recomenda o arquivo SAM. Os valores das variáveis estão conforme a coluna de descrição da Tabela 2, sendo convertido para o peso e selecionado o maior peso entre as três variáveis de altitude ao nível do céu e atribuído na Equação 7. O valor dessa variável é atribuído para a variável de altura do teto da camada limite, representada pela coluna 15 do arquivo SAM.

$$AM = (AP * 0.3048) \quad (7)$$

Em que:

AM: representa o valor da altitude ao nível do céu em pés;

AP: representa o valor da altitude ao nível do céu em metros.

O valor da variável 6 do arquivo SAM é alcançado através do maior peso entre as três variáveis de cobertura ao nível do céu do arquivo MESONET.

O valor da variável 7 segue o mesmo padrão da variável 6, mas buscando o maior peso entre as variáveis SKYC1, SKYC2.

A variável de altímetro de pressão ALTI do arquivo MESONET está em polegadas de mercúrio (inHg), sendo necessário a conversão para milibares (mbar) representado pela variável de pressão da estação, coluna 11 do arquivo SAM conforme Equação 8.

$$VM = (VP * 33.8639) \quad (8)$$

Em que:

VM: representa o valor de pressão da estação em milibares;

VP: representa o valor de pressão da estação em polegadas de mercúrio.

A variável de temperatura do ar TMPF e temperatura do ponto de orvalho DWPF do arquivo MESONET estão em Fahrenheit (°F) sendo necessário a conversão para Celsius (°C). A variável TMPF é representada pela variável de temperatura de bulbo seco coluna 8 e DWPF é representada pela variável de temperatura do ponto de orvalho coluna 9 do arquivo SAM como segue Equação 9.

$$C = \frac{(F - 32)}{1.8} \quad (9)$$

Em que:

C: representa o valor de temperatura em Celsius;

F: representa o valor de temperatura em Fahrenheit.

A variável de visibilidade VSBY do arquivo MESONET está em milhas e também é indispensável a conversão para quilômetros correspondido pela variável de visibilidade, coluna 14 do arquivo SAM determinado pela Equação 10.

$$Q = M * 1.609344 \quad (10)$$

Em que:

Q: representa o valor da visibilidade em quilômetros;

M: representa o valor da visibilidade em milhas.

3.4.2 Arquivo de entrada INP 2

O arquivo editável do tipo texto da configuração de entrada AERMET_2.INP, lê os dados que o primeiro arquivo gerou e cria um arquivo intermediário para o período de simulação. Para criar esse arquivo é necessário informar na palavra-chave XDATES a data para o período que vai ser modelado ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Definição do período do arquivo AERMET_2.INP

```
*****
** MERGE - Combinação dos dados de superfície e altitude em blocos de 24 horas
*****
MERGE
** Definição do arquivo de saída do Estágio 2 **
  OUTPUT      OUTPUT_MERGE.MRG
** Definição do intervalo de tempo para a combinação dos dados **
  XDATES      2019/01/01 TO 2019/06/30
```

Fonte: Autoria própria (2024)

3.4.3 Arquivo de entrada INP 3

O arquivo de entrada editável do tipo texto AERMET_3.INP, também precisa ser criado, tendo como objetivo a leitura do arquivo intermediário. É necessário definir o arquivo de saída de dados de superfície AERMET.SFC e o arquivo de dados de

perfil vertical AERMET.PFL. Na palavra-chave XDATES, também precisa estabelecer o período de modelagem.

No AERMET para melhor representar as características de uso e ocupação do solo é necessário dividir o domínio em setores para determinar o tipo de terreno. A Figura 17 exibe parâmetros das características de superfície, como: frequência da variação, número de setores classificados e definição da divisão dos setores.

Figura 17 – Definição dos setores do arquivo AERMET_3.INP

```

** DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE SUPERFÍCIE **
**FREQ_SECT: Frequência da variação das características(Período)|
  FREQ_SECT  ANNUAL 1

** Divisão dos setores: ID - Início (graus) - Fim do setor (graus) **
  SECTOR      1    0 360

** SITE_CHAR: Período - ID - Albedo - Razão de Bowen - Rugosidade **
**
  Season Sect  Alb   Bo   Zo
SITE_CHAR      1    1 0.35 1.50 1.00

```

Fonte: A autoria própria (2024)

A frequência da variação das características pode ser: anual, sazonal ou mensal, correspondendo a quatro estações ou doze meses respectivamente. Quando definido para anual, as características são iguais para todos os meses do ano. Para mensal, as características do local variam de mês para mês respectivamente. Caso sazonal especificado, as características do local são distribuídas por mês conforme o Quadro 14 para o hemisfério sul.

Quadro 14 – Código de estações para o hemisfério sul

Código	Estação	Meses
1	Inverno	Junho, Julho, Agosto
2	Primavera	Setembro, Outubro, Novembro
3	Verão	Dezembro, Janeiro, Fevereiro
4	Outono	Março, Abril, Maio

Fonte: Manual AERMET US EPA (2022a)

Os setores servem para informar o tipo de terreno que será classificado na região da estação meteorológica. Os setores são definidos a partir do norte no sentido horário devendo cobrir o círculo completo de 360 graus. Eles podem ser formados por água, floresta, pântano, terra cultivada, pastagem, urbano ou arbusto do deserto.

Cada setor possui características de superfície, sendo constituídas pelo código da estação, código do setor, albedo, razão de bowen e rugosidade de superfície.

O albedo e a razão de bowen são responsáveis pela variação da incidência de radiação solar. Albedo determina o quanto que reflete dessa radiação solar que chega e que não se transforma em calor. A Razão de bowen estabelece o quanto dessa radiação solar que vai se transformar em calor.

A rugosidade de superfície estabelece a altura da camada de atrito para calcular velocidade de fricção. São parâmetros que vão influenciar na velocidade do vento e turbulência atmosférica. Esses dados são encontrados no manual do AERMET da US EPA (2022a).

Para a realização da modelagem foi configurado uma frequência do setor para anual com um setor representando um círculo de 0 a 360 graus utilizando a estação do tipo inverno para o hemisfério sul descrito pelo Quadro 14. O tipo de estação definido leva ao fato de que nosso ano inteiro é como se fosse o verão americano, porque o inverno americano possui neve e no Brasil não ocorre essa situação. Dessa forma, as características de albedo, bowen e rugosidade foram aplicadas para o ano inteiro em uma área urbana de acordo com o manual AERMET (US EPA, 2022a).

Para processar o módulo AERMET é necessário renomear o arquivo AERMET_1.INP para AERMET.INP e executar o pré-processador. Esse procedimento deve ser realizado para cada arquivo de entrada, em seguida renomeia os arquivos para o nome que estava anteriormente. Após a execução dos três arquivos de entrada do AERMET é gerado o arquivo de superfície AERMET.SFC e o arquivo de perfil vertical AERMET.PFL.

3.4.4 Arquivo de saída PFL

O arquivo do tipo PFL ilustrado na Figura 18, possui dados de perfil vertical gerados pelo AERMET e utilizado no arquivo de entrada do AERMOD. Sua origem é estabelecida pelo levantamento de dados meteorológicos e período de simulação.

Figura 18 – Arquivo AERMET.PFL

19	1	1	1	10.0	1	200.0	2.60	24.80	99.00	99.00
19	1	1	2	10.0	1	200.0	3.10	24.70	99.00	99.00
19	1	1	3	10.0	1	220.0	2.10	23.70	99.00	99.00
19	1	1	4	10.0	1	200.0	2.60	23.70	99.00	99.00
19	1	1	5	10.0	1	190.0	1.50	23.00	99.00	99.00
19	1	1	6	10.0	1	170.0	1.50	23.10	99.00	99.00
19	1	1	7	10.0	1	200.0	3.60	24.50	99.00	99.00
19	1	1	8	10.0	1	190.0	4.10	27.00	99.00	99.00
19	1	1	9	10.0	1	140.0	6.70	29.10	99.00	99.00
19	1	1	10	10.0	1	140.0	5.70	30.40	99.00	99.00
19	1	1	11	10.0	1	140.0	6.20	31.40	99.00	99.00

Fonte: Autoria própria (2024)

3.4.5 Arquivo de saída SFC

O arquivo do tipo SFC demonstrado na Figura 19, abrange dados de superfície gerados pelo AERMET. O arquivo também é utilizado no arquivo de entrada do AERMOD e seus dados são gerados conforme definição do período e coordenadas das estações meteorológicas de altitude e superfície.

Figura 19 – Arquivo AERMET.SFC

24.53S	54.01W	UA_ID:	83827	SF_ID:	00820	OS_ID:	VERSION:	21112	CCUR_Sub	TEMP_Sub									
19	1	1	1	1	-38.6	0.386	-9.000	-9.000	-999.	576.	128.6	1.0000	2.00	1.00	2.60	200.0	10.0	297.9	2.0
19	1	1	1	2	-48.6	0.487	-9.000	-9.000	-999.	814.	203.9	1.0000	2.00	1.00	3.10	200.0	10.0	297.9	2.0
19	1	1	1	3	-26.9	0.275	-9.000	-9.000	-999.	388.	66.7	1.0000	2.00	1.00	2.10	220.0	10.0	296.9	2.0
19	1	1	1	4	-37.9	0.388	-9.000	-9.000	-999.	580.	132.6	1.0000	2.00	1.00	2.60	200.0	10.0	296.9	2.0
19	1	1	1	5	-10.6	0.130	-9.000	-9.000	-999.	206.	18.0	1.0000	2.00	1.00	1.50	190.0	10.0	296.1	2.0
19	1	1	1	6	-10.6	0.130	-9.000	-9.000	-999.	114.	18.0	1.0000	2.00	1.00	1.50	170.0	10.0	296.2	2.0
19	1	1	1	7	-58.4	0.582	-9.000	-9.000	-999.	1066.	291.4	1.0000	2.00	1.00	3.60	200.0	10.0	297.6	2.0
19	1	1	1	8	-64.0	0.677	-9.000	-9.000	-999.	1334.	418.7	1.0000	2.00	1.00	4.10	190.0	10.0	300.1	2.0
19	1	1	1	9	-64.0	1.152	-9.000	-9.000	-999.	2963.	2060.7	1.0000	2.00	1.00	6.70	140.0	10.0	302.2	2.0
19	1	1	1	10	-25.5	0.984	-9.000	-9.000	-999.	2398.	3215.8	1.0000	2.00	0.48	5.70	140.0	10.0	303.5	2.0
19	1	1	1	11	87.0	1.090	1.067	0.005	481.	2718.	-1283.4	1.0000	2.00	0.28	6.20	140.0	10.0	304.5	2.0

Fonte: Autoria própria (2024)

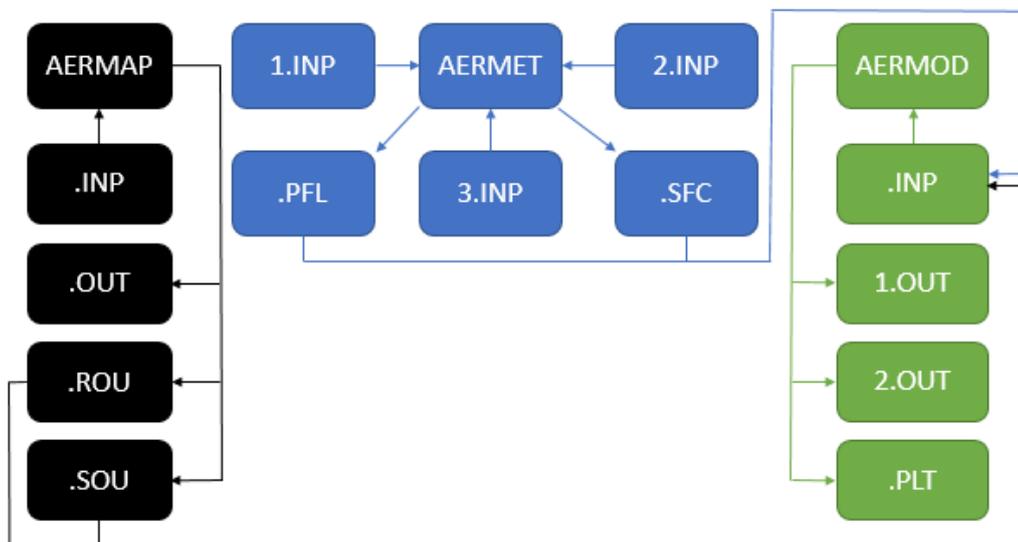
Todas as instruções utilizadas para as configurações dos arquivos de entrada para o pré-processador AERMET, foram obtidas através do manual do usuário disponível pela US EPA (2022a).

3.5 AERMOD

O sistema AERMOD é o processador principal que calcula as concentrações a partir das fontes emissoras e dos dados de saída tanto do AERMAP quanto AERMET, conforme ilustrado na Figura 20. Na modelagem realizada foram

considerados os poluentes: PM₁₀, CO e NO_x. O sistema executa um poluente por vez, sendo necessário determinar médias temporais, ou seja, média horária e de todo o período para cada poluente. Foi definido 24 horas para PM₁₀, 8 horas para CO e 1 hora para NO_x. O tipo PERIOD foi estabelecido como padrão de simulação para todos os poluentes. Para cada fonte, precisa definir suas coordenadas, altitude, tipo, taxa de emissão e os dados específicos para o tipo de fonte.

Figura 20 – Fluxograma AERMOD



Fonte: Autoria própria (2024)

3.5.1 Arquivo de entrada INP

O arquivo de entrada editável do tipo texto AERMOD.INP, precisa ser configurado o título do projeto através da palavra-chave TITLEONE, tipo do modelo DFAULT, calcular concentrações CONC, média de 24 horas e de todo período AVERTIME, determinação do poluente POLLUTID e definição do arquivo de erros ERRORFIL demonstrado na Figura 21.

Figura 21 – Bloco de controle AERMOD

```

*****
** AERMOD Control Pathway (Bloco de Controle)
*****
CO STARTING
** Título do projeto **
  TITLEONE Modelagem PM10

** Opções gerais do modelo **
  MODELOPT DFAULT CONC
** Médias temporais **
** Média horária e de todo período **
  AVERTIME 24 PERIOD
** Determinação do poluente **
  POLLUTID PM10
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL ERRORS.OUT
CO FINISHED

```

Fonte: Autoria própria (2024)

No bloco de definição das fontes, precisa definir as entradas das fontes através do seu tipo, pares de coordenadas e altitude. As informações das fontes são identificadas pelo parâmetro LOCATION e uma chave de identificação interna SOURCE utilizada pelo AERMOD conforme Figura 22.

Figura 22 – Bloco das fontes emissoras

```

*****
** AERMOD Source Pathway (Bloco das Fontes)
*****

SO STARTING
LOCATION SOURCE1 POINT 223388.158 7259860.793 515.48
LOCATION SOURCE2 POINT 226527.240 7264196.760 563.15
LOCATION SOURCE3 POINT 217568.680 7260176.570 457.65
LOCATION SOURCE4 POINT 226556.730 7260741.690 565.06
LOCATION SOURCE5 POINT 220542.940 7256701.870 474.23
LOCATION SOURCE6 POINT 217691.610 7260127.890 465.69
LOCATION SOURCE7 POINT 227125.440 7260495.800 569.40
LOCATION SOURCE8 POINT 227349.710 7258882.730 586.11
LOCATION SOURCE9 POINT 223516.320 7261626.860 513.81
LOCATION SOURCE10 POINT 213434.840 7266521.280 495.21
LOCATION SOURCE11 POINT 220739.610 7263409.740 576.57
LOCATION SOURCE12 POINT 227155.260 7262952.200 545.83
LOCATION SOURCE13 POINT 222962.670 7265131.570 554.67

```

Fonte: Autoria própria (2024)

A Tabela 4 demonstra as fontes emissoras, poluentes, períodos e a taxa de emissão em gramas por segundo adquiridos pelo IBAMA. Uma codificação foi atribuída para cada fonte emissora do inventário conforme Quadro 1, para facilitar na

identificação nas simulações. As fontes emissoras F01 e F02 foram as que tiveram menos valores faltantes acompanhado do poluente CO para o período de simulação.

Tabela 4 – Taxa de emissão dos poluentes por período

Fonte	PM ₁₀ 2019	PM ₁₀ 2020	PM ₁₀ 2021	CO 2019	CO 2020	CO 2021	NO _x 2019	NO _x 2020	NO _x 2021
F01	1	2.21	2.13	1.91	4.15	8.25	0.90	1.93	3.51
F02	0.11	0.14	0.08	0.24	0.21	0.58			
F03						0.35			
F04									
F05					89.81				
F06				0.37	0.39	0.40			
F07									
F08				0.29	0.15	0.15			
F09									
F10				0.44	0.46	0.46			
F11			0.50	1.61	1.58				
F12					0.03	0.03			
F13									

Fonte: IBAMA (2020)

Os parâmetros específicos de chaminé exceto QS, foram estimados com base na literatura expostos na Figura 23. Os valores foram extraídos do arquivo de entrada do processador principal AERMOD e correspondem ao período de 2019 do poluente CO para cada fonte emissora.

Figura 23 – Parâmetros das fontes emissoras

Point Source Parameters:	QS	HS	TS	VS	DS
SRCPARAM SOURCE1	1.91	25	481.75	3.5	0.4
SRCPARAM SOURCE2	0.24	20	301.75	8.11	1.4
SRCPARAM SOURCE3	0	30	310.75	1.11	1
SRCPARAM SOURCE4	0	13	255.75	4.55	1.5
SRCPARAM SOURCE5	0	21	260.34	5.23	1.6
SRCPARAM SOURCE6	0.37	22	240.75	6.44	1.7
SRCPARAM SOURCE7	0	18	280	7.89	1.8
SRCPARAM SOURCE8	0.29	23	210.75	7.11	1.1
SRCPARAM SOURCE9	0	21	299.7	3.14	2.2
SRCPARAM SOURCE10	0.44	27	270.6	4.13	2.3
SRCPARAM SOURCE11	1.61	26	230.4	2.88	2.6
SRCPARAM SOURCE12	0	28	220.55	1.25	1.3
SRCPARAM SOURCE13	0	19	222.2	7.1	1.2

Fonte: Autoria própria (2024)

O arquivo AERMAP.ROU gerado pelo processo AERMAP é utilizado no arquivo de entrada do AERMOD no bloco dos receptores para realizar a execução.

Esse arquivo possui a grade cartesiana com as coordenadas estabelecidas em cada ponto receptor apresentado na Figura 24.

Figura 24 – Definição do arquivo de receptores

```
*****
** AERMOD Receptor Pathway (Bloco dos Receptores)
*****

RE STARTING
RE INCLUDED AERMAP.ROU
RE FINISHED
```

Fonte: Autoria própria (2024)

No bloco de meteorologia mostrado na Figura 25, também precisa informar o período e código das estações meteorológicas de altitude e superfície criados pelo AERMET. A descrição do arquivo de saída com dados de superfície SFC e do arquivo de saída com dados de perfil vertical PFL, precisam ser idênticas aos seus arquivos gerados. Outro parâmetro representado pela palavra-chave PROFBASE, é a altura a partir da qual vai fazer o perfil de temperatura potencial, considerando a partir do nível do mar.

Figura 25 – Definição dos dados meteorológicos

```
*****
** AERMOD Meteorological Pathway (Bloco de Meteorologia)
*****

ME STARTING
SURFFILE AERMET.SFC
PROFFILE AERMET.PFL
SURFDATA 00820 2019 PR
UAIRDATA 83827 2019 PR
PROFBASE 0.0 METERS
ME FINISHED
```

Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 26 demonstra o último bloco de configuração dos arquivos de saída gerados pelo AERMOD. O sistema permite a configuração de vários tipos de arquivos de saída. Cada tipo de arquivo gera as concentrações médias para cada poluente, suas coordenadas e o período simulado para cada ponto receptor calculado pelo

modelo. O modelo permite a definição de médias horárias e de todo o período para o poluente disposto. A Figura 26 exibe a modelagem do poluente PM₁₀, com concentrações médias em microgramas por metro cúbico para o primeiro período de 2019 e composto por quatro arquivos de saída mais utilizados pelo modelo:

- PM10_24_MAXI.PLT
- PM10_PERIOD_POST.PLT
- PM10_PERIOD_PLOT.PLT
- PM10_24_50_RANK.PLT

Figura 26 – Definição dos arquivos de saída

```
*****
** AERMOD Output Pathway (Bloco de Saída)
*****

OU STARTING
OU RECTABLE  ALLAVE  1  2
OU MAXTABLE  ALLAVE  50
OU MAXIFILE  24      ALL  50      PM10_24_MAXI.PLT
OU POSTFILE  PERIOD  ALL  PLOT    PM10_PERIOD_POST.PLT
OU PLOTFILE  PERIOD  ALL                    PM10_PERIOD_PLOT.PLT
OU RANKFILE  24              50      PM10_24_50_RANK.PLT
OU FINISHED
```

Fonte: Autoria própria (2024)

Os arquivos de saída gerados pelo AERMOD mais utilizados correspondem a quatro tipos: RANKFILE, MAXIFILE, POSTFILE e PLOTFILE.

- RANKFILE – Os valores de saída são por classificação para uso em gráficos Q-Q (quantis). A quantidade classificada possui maiores concentrações médias de 24 horas para análise e avaliação da magnitude do impacto;
- MAXIFILE – Possui as ocorrências de violações do valor limite especificado pelo usuário. Consegue averiguar a frequência de violação do padrão de qualidade do ar, ou seja, a frequência do impacto. O arquivo permite a definição do valor padrão de qualidade do ar de acordo com o poluente informado. Os valores de cada poluente podem ser encontrados na resolução CONAMA nº 491/2018;

- POSTFILE – Gera resultados simultâneos (brutos) em cada receptor adequados para pós-processamento. O arquivo possui as máximas concentrações médias em cada receptor de acordo com a média horária temporal classificada;
- PLOTFILE – Gera valores de *design* que podem ser importados para software gráfico para plotagem de contornos. Contém as máximas concentrações médias em cada receptor conforme estabelecido pela média horária temporal.

Para a modelagem realizada, foi utilizado o arquivo de saída do tipo PLOTFILE por ser o mais interessado pelo órgão ambiental. O arquivo apresenta a maior concentração da média do período. A máxima por exemplo de 24 horas durante todo o período de modelagem para cada receptor. No final não seria uma pluma e sim um cenário onde cada receptor apresenta a maior média de 24 horas. Ele gera a maior concentração em cada receptor para verificar quais são as áreas mais vulneráveis para a poluição atmosférica da sua emissão.

Após executar o processador principal AERMOD é gerado o arquivo de saída ERRORS.OUT contendo uma lista com mensagens de erro, dicas ou sugestões para possíveis ajustes no arquivo de entrada AERMOD.INP conforme Figura 27.

Figura 27 – Arquivo ERRORS.OUT

```
***** Error Message List *****
PW      --- Pathway
Code    --- Error Type + Error Code
L#      --- The Line Number Where Error Occurs
ModNam  --- Module Name In Which Error Occurs
Hints   --- Hints For The Possible Solution
*****
```

PW	CODE	L#	MODNAM	ERROR MESSAGES	HINTS
SO	W320	54	ACPARAM:	Input Parameter May Be Out-of-Range for Parameter	QS
SO	W320	55	PPARM:	Input Parameter May Be Out-of-Range for Parameter	QS

Fonte: Aatoria própria (2024)

A Figura 28 ilustra outro arquivo de saída AERMOD.OUT. Esse arquivo possui o log de execução com possíveis mensagens de erros fatais e mensagens

informativas. Ao final do arquivo é criado um resumo com o total de mensagens por categoria e a mensagem de execução concluída com ou sem sucesso.

Figura 28 – Arquivo AERMOD.OUT

```

----- Summary of Total Messages -----
A Total of           0 Fatal Error Message(s)
A Total of           8 Warning Message(s)
A Total of          3735 Informational Message(s)

A Total of          26304 Hours Were Processed

A Total of           1850 Calm Hours Identified

A Total of           1885 Missing Hours Identified (  7.17 Percent)

***** FATAL ERROR MESSAGES *****
*** NONE ***

```

Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 29 ressalta o arquivo de saída PM10_PERIOD_PLOT.PLT do tipo PLOTFILE gerado pelo AERMOD. O arquivo tem como destaque, os pares de coordenadas e máximas concentrações médias em microgramas por metro cúbico para todo o período do poluente PM₁₀. O arquivo possui 1600 receptores e também é composto pela elevação do terreno do receptor, escala de altura da colina, altura do receptor, período de média, identificação do grupo de origem, número de horas para médias do período e identificação da rede do receptor.

Figura 29 – Arquivo PM10_PERIOD_PLOT.PLT

```

* AERMOD (21112 ): Modelagem PM10                               01/18/24
* AERMET ( 21112):                                           14:46:37
* MODELING OPTIONS USED:  RegDEFAULT CONC ELEV RURAL
*   PLOT FILE OF PERIOD VALUES AVERAGED ACROSS  0 YEARS FOR SOURCE GROUP: ALL
*   FOR A TOTAL OF 1600 RECEPTORS.
*   FORMAT: (3(1X,F13.5),3(1X,F8.2),2X,A6,2X,A8,2X,I8.8,2X,A8)

*   X           Y           AVERAGE CONC           ZELEV           ZHILL           ZFLAG           AVE           GRP           NUM HRS           NET ID
*   -----
208434.84000 7251701.87000           0.00569           501.00           501.00           0.00 PERIOD ALL           00004344  CART1
208934.84000 7251701.87000           0.00621           519.60           519.60           0.00 PERIOD ALL           00004344  CART1

```

Fonte: Autoria própria (2024)

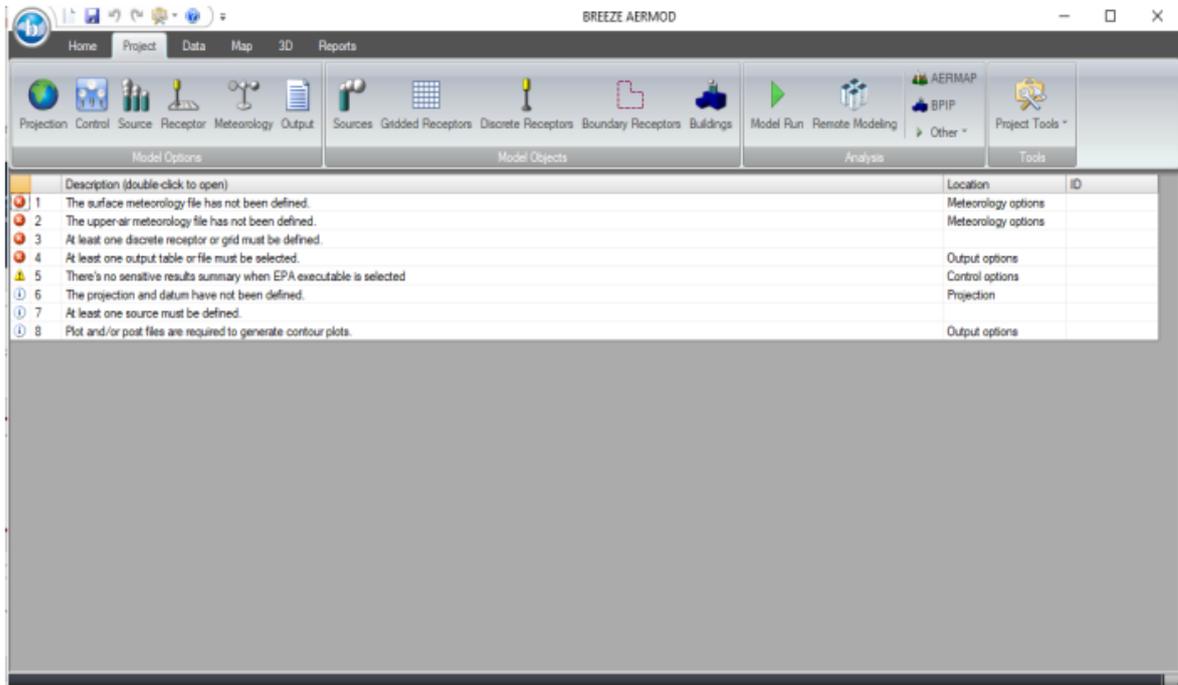
Todas as instruções utilizadas para as configurações do arquivo de entrada para o processador principal AERMOD, foram obtidas através do manual do usuário disponível pela US EPA (2022b).

3.6 BREEZE AERMOD/ISC

O software proprietário BREEZE AERMOD conforme Figura 30, foi utilizado como referência para validar, comparar e verificar seus arquivos de saída com os do software avaliado. A mesma etapa de processamento, cadastro e definição dos arquivos de saída realizados no software avaliado, também foram aplicados no software de referência e assim gerar os arquivos de saída para garantir uma análise estatística exploratória.

Um ponto crítico observado no software de referência, é que não permite a configuração dos arquivos de entrada na parte do AERMET, apenas opção para importação dos arquivos de saída do tipo PFL e SFC. A forma encontrada para preencher essa lacuna, foi utilizar a plataforma *web* E-Z AERMOD do LCQAr da UFSC (2024). Desse modo, a etapa de calibração foi efetuada no sistema AERMET da plataforma e gerado os dois arquivos de saída para serem consumidos no sistema AERMET do software Breeze.

Figura 30 – Software BREEZE AERMOD



Fonte: Aires Serviços Ambientais (2020)

3.7 Validação

Para validar o software avaliado, foi realizado uma comparação através de mapas geográficos e validação numérica por meio de estatística descritiva das concentrações médias dos arquivos de saída do mesmo, com os arquivos de saída do software de referência. Através do arquivo de saída do tipo PLOTFILE, efetuou-se a plotagem dos mapas de contorno de todos os poluentes e períodos de simulação para os dois softwares. Os mapas foram formados com amostra de dados em quartil. As quatro partes possuem uma ordem do menor valor da concentração até o primeiro quartil, do primeiro quartil até a mediana, da mediana até o terceiro quartil e do terceiro quartil até a concentração máxima. Caracterizou-se uma escala de cores para o mapa de cada poluente para assim ter uma distinção entre os mapas e contribuir com uma análise comparativa.

3.7.1 Método de interpolação IDW

O método de interpolação espacial conhecido como ponderação pelo inverso da distância IDW empregado na geração dos mapas, teve como prioridade por ser o padrão entre os modelos de dispersão atmosférica e popularmente consumido por softwares proprietários. Por sua vez, ele é um interpolador determinístico e para a modelagem recorreu-se ao expoente quadrático. Bastante operado em geociências, seu tipo recorre a cada ponto conhecido no cálculo dos pesos ao inverso da distância. Motivado pela média ponderada aplicada aos valores de pontos conhecidos ou pontos de dados é calculado os valores interpolados de pontos desconhecidos ou pontos de previsão (Mei, 2016). A interpolação por IDW pode ser obtida por meio da Equação 11:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i(x)Z_i}{\sum_{j=1}^n \omega_j(x)}, \quad \omega_i(x) = \frac{1}{d(x, x_i)^p} \quad (11)$$

Segundo Shepard (1968), a equação acima é uma função de ponderação IDW simples.

Em que:

x : representa um local de predicação;

x_i : representa um ponto de dados;
 d : é a distância do ponto de dados conhecido x_i ao ponto de predicação desconhecido x ;
 n : representa o número total de pontos de dados usados na interpolação;
 p : representa o parâmetro de potência em geral ($p = 2$).

3.7.2 Índice Kappa ponderado

O índice Kappa ponderado é indicado para testes de confiabilidade e concordância entre duas amostras que possuem variáveis categóricas ordinais ou seja, que existe uma ordem entre essas categorias (Kottner *et al.*, 2011). Seu método aplica um peso entre as discordâncias de dois observadores e tem como característica, corrigir o quanto seria esperado de concordância ao acaso através da confiabilidade (Kvalseth, 2018). O método pode ser aplicado para interobservadores, ou seja, quando existem dois observadores diferentes e que estejam avaliando um conjunto de dados. Outra opção seria intraobservador que é destinado para ele mesmo, por meio de duas avaliações do mesmo observador contendo um intervalo de no mínimo uma ou duas semanas para desempenhar uma nova avaliação e assim verificar o quanto esse observador concorda com ele mesmo do passado.

Uma tabela de contingência precisa ser criada abrangendo variáveis em linhas e colunas onde é feito um cruzamento entre elas gerando o índice de classificação. A interpretação da magnitude do índice Kappa ponderado é equivalente ao do índice Kappa (McHugh, 2012) expressa pela Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação do índice Kappa por McHugh

Valor Kappa	Nível de concordância	Porcentagem de dados confiáveis
0 - 0.20	Nenhum	0% - 4%
0.21 – 0.39	Mínimo	4% - 15%
0.40 – 0.59	Fraco	15% - 35%
0.60 – 0.79	Moderado	35% - 63%
0.80 – 0.90	Forte	64% - 81%
Acima de 0.90	Quase perfeito	82% - 100%

Fonte: McHugh (2012)

Os diferentes níveis de discordância entre as categorias é levado em consideração para o cálculo de um coeficiente do valor Kappa ponderado. Os diferentes níveis de concordância são representados por pesos que são atribuídos para cada variável da tabela de contingência. Vários graus de concordância ou discordância entre as categorias classificadas são levadas em consideração para

gerar um Kappa ponderado por meio de pesos adicionados à equação (Tang *et al.*, 2015).

A Equação 12 exibe o cálculo para quantificar as discordâncias utilizando pesos (w_{ij}) pelo Kappa ponderado (\widehat{K}_w) (Cohen, 1968), para avaliar a similaridade dos mapas interpolados.

$$\widehat{K}_w = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r w_{ij} P_{ij} - \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r w_{ij} P_{i+} P_{+j}}{1 - \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r w_{ij} P_{i+} P_{+j}} \quad (12)$$

Em que,

$w_{ij} = 1 - (|i - j|)^2 / (r - 1)^2$ são os pesos quadráticos (Fleiss; Cohen, 1973) para uma matriz de contingência com r classes, para $i, j = 1, \dots, r$;

P_{ij} são as proporções conjuntas, ou seja, a contagem de *pixels* em cada célula da matriz de contingência dividida por N , o número total de *pixels* do mapa, para $i, j = 1, \dots, r$;

$P_{i+} = n_{i+}/N$ são as proporções marginais, em que n_{i+} representa a soma dos *pixels* da coluna i da matriz de contingência, $i = 1, \dots, r$.

$P_{+j} = n_{+j}/N$ são as proporções marginais, em que n_{+j} representa a soma dos *pixels* da coluna j da matriz de contingência, $j = 1, \dots, r$.

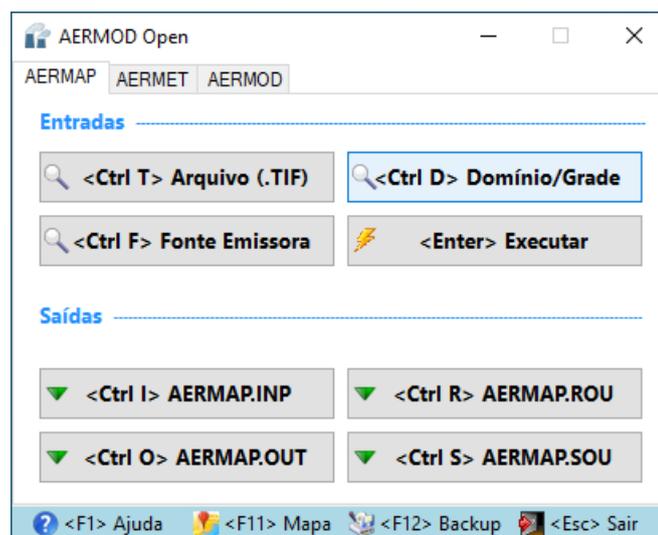
4 SOFTWARE PROPOSTO

Neste capítulo é apresentado a automatização de todos os módulos do AERMOD implementados no software avaliado e a análise dos resultados obtidos pela execução do software de referência e avaliado. Os resultados gerais de cada período e poluente, foram apresentados através de mapas de contorno, sendo possível uma comparação entre os mesmos facilitando análises prévias. Na sequência é demonstrado os resultados da validação numérica através da execução do índice Kappa ponderado no conjunto de dados interpolados entre as duas amostras.

4.1 Automatização AERMAP

No software proposto, o arquivo de entrada AERMAP.INP é gerado de forma automática. O processo descrito no capítulo 3 sobre o AERMAP é realizado através de cadastros com uma interface simples possibilitando a execução do pré-processador de forma eficaz e gerenciável. A Figura 31 exibe a tela principal do sistema AERMAP sendo possível cadastrar arquivos topográficos TIF, fontes emissoras, domínio e grade de modelagem. O software possibilita a exportação dos arquivos gerados pelo pré-processador.

Figura 31 – Sistema AERMAP

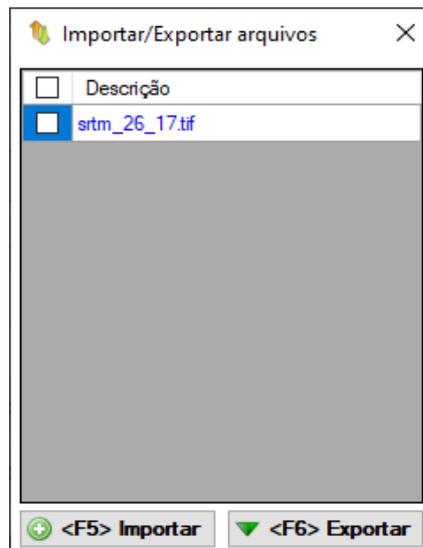


Fonte: Autoria própria (2024)

4.1.1 Arquivo TIF

O cadastro de arquivos topográficos TIF, permite importação, exportação e exclusão de arquivos no formato TIF. Ao importar um arquivo é possível definir uma descrição, sendo concluído com o processo de verificação e validação do mesmo. A Figura 32 apresenta o cadastro de arquivos TIF.

Figura 32 – Cadastro de arquivos TIF



Fonte: Autoria própria (2024)

4.1.2 Fontes emissoras

O cadastro de fontes emissoras permite, inserção, alteração e exclusão de registros. O cadastro é composto pela descrição da fonte, tipo e pares de coordenadas longitude e latitude em UTM, exibidas na Figura 33.

Figura 33 – Cadastro de fontes emissoras

The screenshot shows a software window titled 'Fontes emissoras'. At the top, there is a 'Descrição' field containing 'BRF'. Below it, the 'Tipo da fonte' is set to 'POINT'. The 'X (UTM)' coordinate is '223.388,158' and the 'Y (UTM)' coordinate is '7.259.860,793'. A '<Enter> Salvar' button is visible. Below the form is a table with the following data:

<input type="checkbox"/>	ID	Descrição	TIPO	X	Y
<input checked="" type="checkbox"/>	01	BRF	POINT	223388,158	7259860,793
<input type="checkbox"/>	02	CARGIL ALIM...	POINT	226527,240	7264196,760
<input type="checkbox"/>	03	DE HEUS IND...	POINT	217568,680	7260176,570
<input type="checkbox"/>	04	TECTRON IM...	POINT	226556,730	7260741,690
<input type="checkbox"/>	05	HUMUSFERTI...	POINT	220542,940	7256701,870
<input type="checkbox"/>	06	BOMBONATT...	POINT	217691,610	7260127,890
<input type="checkbox"/>	07	COMPENSAD...	POINT	227125,440	7260495,800
<input type="checkbox"/>	08	VACCINAR IN...	POINT	227349,710	7258882,730
<input type="checkbox"/>	09	VIFRAN FÁBR...	POINT	223516,320	7261626,860
<input type="checkbox"/>	10	COMERCIAL ...	POINT	213434,840	7266521,280
<input type="checkbox"/>	11	PRATI DONA...	POINT	220739,610	7263409,740

At the bottom of the window, there is a toolbar with icons and labels for: '<F1> Ajuda', '<Insert> Inserir', '<Alt A> Alterar', '<Delete> Excluir', and '<Esc> Sair'.

Fonte: Autoria própria (2024)

4.1.3 Domínio de modelagem

O cadastro de domínio de modelagem, possibilita a definição das coordenadas inferiores esquerda, superiores direita, dígito e letra da zona UTM e o valor em UTC. O cadastro permite um gerenciamento de registros, possibilitando inserção, alteração, exclusão e consulta de registros. Dessa forma é possível selecionar o domínio de modelagem desejável para execução do sistema AERMAP ilustrado na Figura 34. Para uma execução bem sucedida é indispensável que a grade de modelagem esteja dentro do domínio e o software faz esse controle mediante os campos que definem a distância em metros das fontes para a grade e da grade para o domínio.

Figura 34 – Cadastro de domínio de modelagem

Fonte: Autoria própria (2024)

A definição da grade de modelagem fica disponível através do botão (Grade) ou tecla F3 expressa na Figura 35, sendo possível o acesso ao painel de tipos de grades estabelecidas pelo sistema AERMAP. O software permite o cadastro de grade cartesiana uniforme e com elevação, grade cartesiana discreta normal e do tipo EVALFILE.

Figura 35 – Tipos de grades

Fonte: Autoria própria (2024)

O cadastro de grade cartesiana uniforme pode ser acessado pelo botão (Uniforme) ou tecla F2. O cadastro é composto por um código de identificação do registro permitindo navegação entre os mesmos. Pode ser definido uma descrição de no máximo 8 caracteres, coordenadas do eixo X e Y inferior esquerda em UTM, quantidade de receptores e distância entre eles para os dois eixos apresentados na Figura 36.

Figura 36 – Cadastro de grade cartesiana uniforme

Cartesiano

Código: 1

Descrição
CART1

Eixo X inferior esquerdo
208.434,840

Eixo Y inferior esquerdo
7.251.701,870

Espaçamento eixo X
500,000

Espaçamento eixo Y
500,000

Colunas eixo X
40

Colunas eixo Y
40

<F1> Ajuda <Esc> Sair

Fonte: Autoria própria (2024)

O cadastro de grade cartesiana com elevação segue o mesmo padrão do cadastro de grade cartesiana uniforme, tendo como característica o cadastro de um conjunto de coordenadas, elevação do terreno em metros e altura dos receptores acima do solo em metros conforme Figura 37.

Figura 37 – Cadastro de grade cartesiana com elevação

Elevação / Altura

Código: 1

Descrição

X
208.434,840

Y
7.251.701,870

Elevação
0,000

Altura
0,000

Coordenadas			
ID	X	Y	
1	208434,840	7251701,870	

Elevação/Altura			
ID	Elevação	Altura	

<F1> Ajuda <Esc> Sair

Fonte: Autoria própria (2024)

O cadastro de grade cartesiana discreta normal é semelhante ao cadastro da Figura 36 e possui como propriedade as coordenadas dos eixos X e Y para a localização do receptor, elevação do terreno em metros e a altura dos receptores acima do solo manifestado na Figura 38.

Figura 38 – Cadastro de grade cartesiana discreta normal

Cartesiano discreto

Código: 1

Descrição

Eixo X: 208.434,840

Eixo Y: 7.251.701,870

Elevação: 0,000

Altura: 0,000

<F1> Ajuda <Esc> Sair

Fonte: Autoria própria (2024)

O cadastro de grade cartesiana discreta EVALFILE é semelhante ao cadastro de grade cartesiana discreta normal. Esse tipo de grade permite o agrupamento de receptores por arco e projetado para ser usado com a opção EVALFILE do AERMOD como mostra a Figura 39.

Figura 39 – Cadastro de grade cartesiana discreta EVALFILE

Cartesiano discreto EVALFILE

Código: 1

Descrição

Eixo X: 208.434,840

Eixo Y: 7.251.701,870

Elevação: 0,000

Altura: 0,000

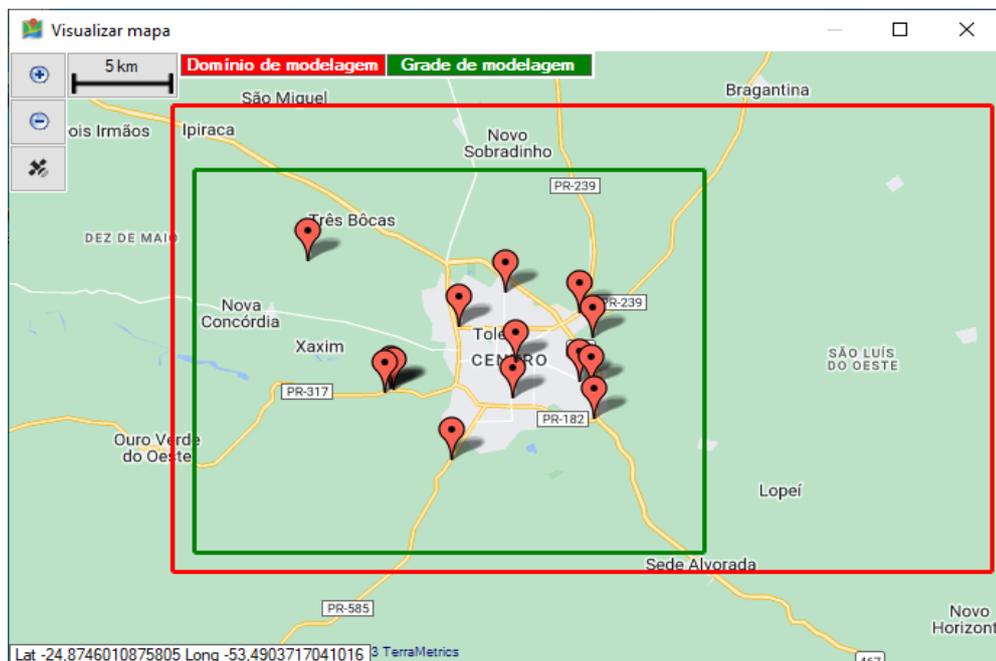
<F1> Ajuda <Esc> Sair

Fonte: Autoria própria (2024)

4.1.4 Execução AERMAP

Após realizar os cadastros necessários, o software permite executar o pré-processador AERMAP tendo como resultado, os arquivos de saída: AERMAP.INP, AERMAP.OUT, AERMAP.ROU e AERMAP.SOU. Através de um mapa geográfico, o software permite a visualização do domínio de modelagem representado pela cor vermelha e a grade pela cor verde. Os marcadores na cor vermelha, simbolizam as fontes emissoras com suas coordenadas da região de simulação, exibidas na Figura 40. O visualizador de mapas também permite alterar o estilo do mapa entre satélite, terreno e marcador.

Figura 40 – Visualizar mapa do domínio e grade de modelagem

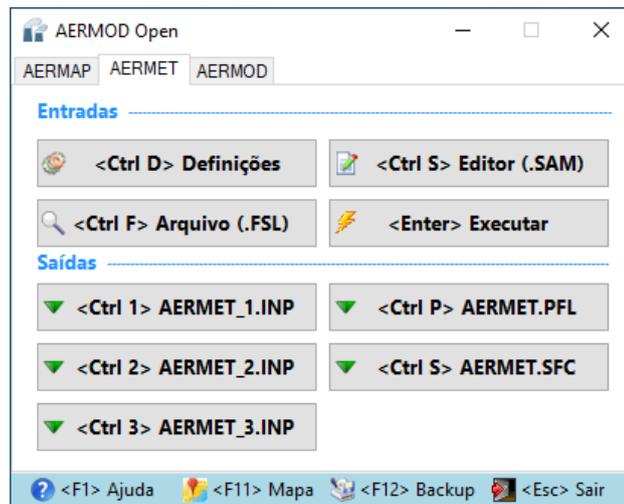


Fonte: Autoria própria (2024)

4.2 Automatização AERMET

Todo o processo referido de criação do arquivo de entrada, radiossondagem e meteorológico é criado de forma automática no software proposto demonstrado na Figura 41. O sistema AERMET permite o gerenciamento de arquivos de radiossondagem, cadastro de características de uso e ocupação do solo e criação do arquivo meteorológico SAMSON.SAM resultante dos dados que podem ser obtidos pelo INMET ou MESONET.

Figura 41 – Sistema AERMET



Fonte: Autoria própria (2024)

4.2.1 Definições

O cadastro de características de superfície exibido na Figura 42, permite a inclusão do local para simulação, período e coordenadas em UTM. Caso seja preciso realizar várias simulações em um ano, o sistema permite o cadastro de vários períodos possibilitando escolher o período desejável para execução do modelo.

Figura 42 – Cadastro de características de superfície

Fonte: Autoria própria (2024)

O cadastro de características de uso e ocupação do solo, comporta definição de setores em graus, frequências (Anual, Sazonal, Mensal), estações do ano (Primavera, Verão, Outono, Inverno), Albedo de coberturas do solo por uso da terra e estação, razão de Bowen durante o dia e comprimento da rugosidade da superfície como segue a Figura 43.

Figura 43 – Cadastro de características de uso e ocupação do solo

Definições das características de superfície

Cadastro Consulta

Dados Básicos Características

Frequência ANUAL

Setor 0 360

Estação INVERNO

Albedo 0,35

Bowen 1,50

Rugosidade 1,00

<Insert> Inserir <Alt A> Alterar <Delete> Excluir <Enter> Salvar

<input type="checkbox"/>	ID	Frequência	Setor	Estação	Albedo	Bowen	Rug.
<input checked="" type="checkbox"/>	1	ANUAL	0 - 360	INVERNO	0,35	1,50	1,00

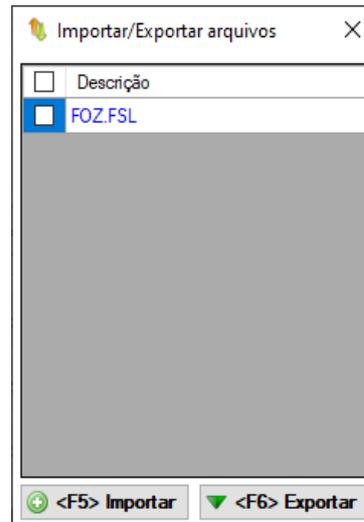
<F1> Ajuda <F2> Consultar <Enter> Salvar <Esc> Sair

Fonte: Autoria própria (2024)

4.2.2 Arquivo FSL

O software permite a importação, exportação e exclusão de arquivos de radiossondagem com formato FSL ilustrado na Figura 44. O cadastro de arquivos de radiossondagem segue o mesmo padrão do cadastro de arquivos TIF mostrado na Figura 32.

Figura 44 – Cadastro de arquivos de radiossondagem

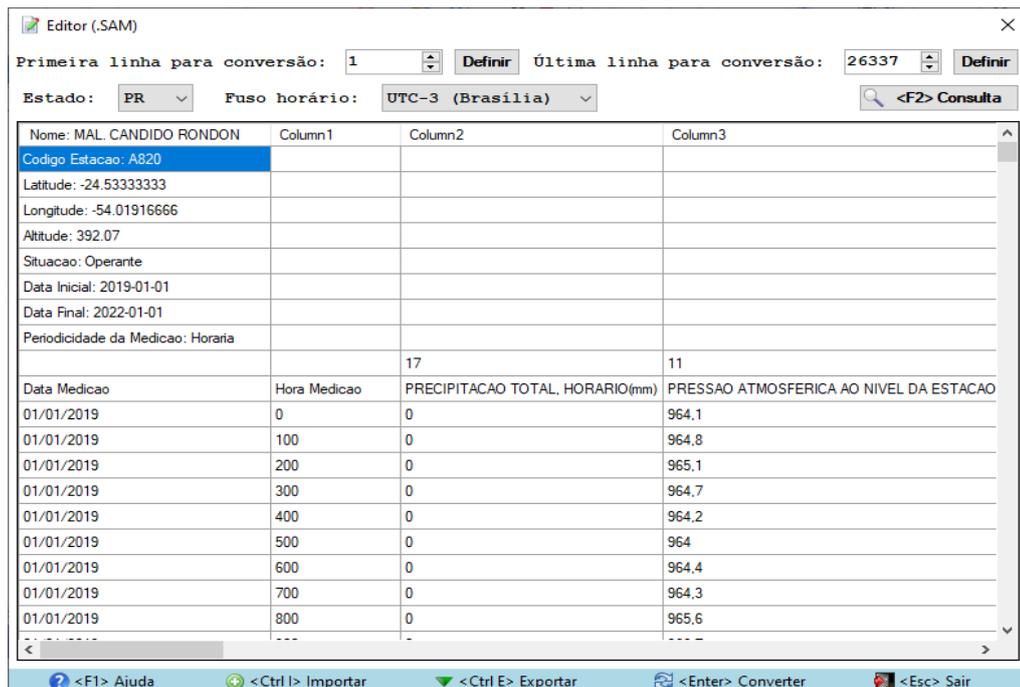


Fonte: Autoria própria (2024)

4.2.3 Editor SAM – INMET

O editor de arquivos SAM relatado na Figura 45, proporciona a importação de arquivos gerados pelo INMET e conversão do mesmo para o formato SAM aceitável pelo sistema AERMET. O cadastro viabiliza a definição do período inicial e final para conversão, estado da estação meteorológica, fuso horário e consulta de arquivos SAM cadastrados.

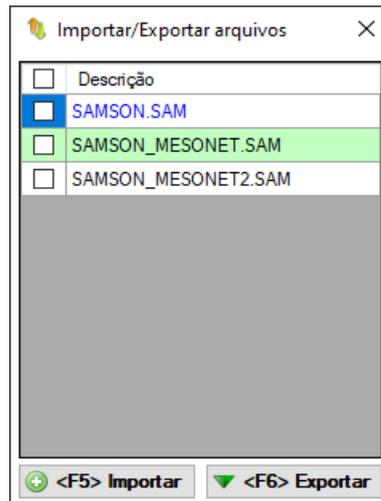
Figura 45 – Editor de arquivos SAM - INMET



Fonte: Autoria própria (2024)

O cadastro de arquivos SAM permite importação, exportação e exclusão de arquivos no formato SAM, oferecendo opção para selecionar qual arquivo deseja utilizar na execução do modelo como mostra a Figura 46. O cadastro segue o mesmo padrão de operações dos cadastros apresentados nas Figuras 32 e 44.

Figura 46 – Cadastro de arquivos SAM



Fonte: Autoria própria (2024)

4.2.4 Editor SAM – MESONET

O editor de arquivos SAM referido na Figura 47, viabiliza a importação de arquivos gerados pelo MESONET e conversão do mesmo para o formato SAM requerido pelo sistema AERMET. O cadastro proporciona a definição do código da estação meteorológica de superfície, nome e estado da cidade da estação, fuso horário, coordenadas latitude e longitude em graus decimais, elevação da estação em metros e consulta de arquivos SAM cadastrados. A consulta de arquivos é a mesma utilizada no editor SAM específico para o INMET publicado na Figura 46.

Figura 47 – Editor de arquivos SAM - MESONET

station	valid	tmpf	dwpf	relh	drct	sknt	p01i	alti	mslp	vsby	gust	skyc1	skyc2	skyc3	skyc4	skyl1	skyl2	skyl3	skyl4	wxcodes	ice_accretion_1hr	ice_accretion_3hr		
SBCA	2019-01-01	17:00	87.80	64.40	45.88	20.00	16.00	0.00	30.00	null	6.21	null	SCT	null	null	null	4000.00	null	null	null	null	null	89.33	
SBCA	2019-01-01	18:00	89.60	66.20	46.14	90.00	12.00	0.00	29.97	null	6.21	null	SCT	null	null	null	4000.00	null	null	null	null	null	92.27	
SBCA	2019-01-01	19:00	89.60	68.00	49.10	60.00	10.00	0.00	29.94	null	6.21	null	SCT	null	null	null	3500.00	null	null	null	null	null	93.47	
SBCA	2019-01-01	23:00	84.20	68.00	58.32	0.00	0.00	0.00	29.97	null	6.21	null	FEW	null	null	null	3000.00	null	null	null	null	null	87.40	
SBCA	2019-01-02	00:00	80.60	68.00	65.54	60.00	8.00	0.00	29.97	null	6.21	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	83.29	
SBCA	2019-01-02	01:00	78.80	66.20	65.33	60.00	8.00	0.00	30.00	null	6.21	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	80.82	
SBCA	2019-01-02	07:00	75.20	69.80	83.32	20.00	10.00	0.00	29.97	null	6.21	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	76.34
SBCA	2019-01-02	08:00	75.20	69.80	83.32	20.00	12.00	0.00	30.00	null	6.21	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	76.34
SBCA	2019-01-02	11:00	77.00	68.00	73.78	40.00	22.00	0.00	30.03	null	6.21	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	77.00
SBCA	2019-01-02	12:00	78.80	68.00	69.52	30.00	22.00	0.00	30.06	null	6.21	null	SCT	null	null	null	2000.00	null	null	null	null	null	null	81.10
SBCA	2019-01-02	14:00	84.20	69.80	62.03	20.00	22.00	0.00	30.03	null	6.21	null	BKN	FEW	null	null	2000.00	2500.00	null	null	null	null	null	8...
SBCA	2019-01-02	15:00	84.20	69.80	62.03	20.00	20.00	0.00	30.03	null	6.21	null	BKN	FEW	null	null	2000.00	5000.00	null	null	null	null	null	8...
SBCA	2019-01-02	16:00	86.00	71.60	62.25	330.00	20.00	0.00	30.00	null	6.21	null	SCT	FEW	null	null	3000.00	5000.00	null	null	null	null	null	...
SBCA	2019-01-02	17:00	86.00	71.60	62.25	330.00	22.00	0.00	29.97	null	6.21	null	SCT	FEW	null	null	3000.00	5000.00	null	null	null	null	null	...
SBCA	2019-01-02	18:00	87.80	69.80	55.29	360.00	23.00	0.00	29.97	null	6.21	null	SCT	FEW	null	null	3000.00	5000.00	null	null	null	null	null	...
SBCA	2019-01-03	00:00	78.80	68.00	69.52	320.00	8.00	0.00	29.94	null	6.21	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	81.10
SBCA	2019-01-03	01:00	77.00	68.00	73.78	20.00	7.00	0.00	29.97	null	6.21	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	77.00
SBCA	2019-01-03	07:00	73.40	69.80	88.51	20.00	12.00	0.00	29.94	null	6.21	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	74.60
SBCA	2019-01-03	08:00	73.40	69.80	88.51	10.00	14.00	0.00	29.94	null	6.21	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	74.60
SBCA	2019-01-03	10:00	75.20	68.00	78.34	10.00	20.00	0.00	29.97	null	6.21	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	75.20

Fonte: Autoria própria (2024)

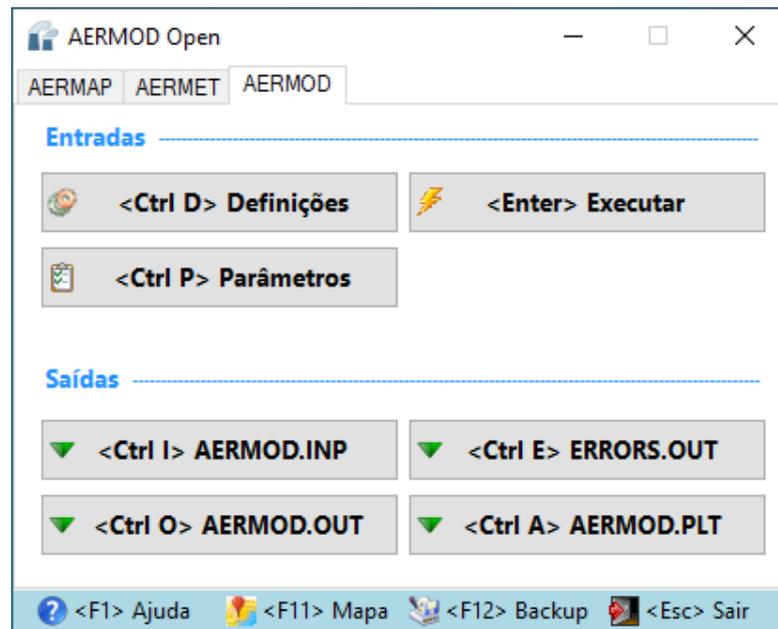
4.2.5 Execução AERMET

O processo de execução do pré-processador é efetuado de modo automático em conformidade com os três arquivos de entrada INP cadastrados. Após finalizar o procedimento é possível exportar os três arquivos de entrada AERMET.INP e os arquivos de saída AERMET.PFL e AERMET.SFC.

4.3 Automatização AERMOD

Todo o processo de desenvolvimento do software foi realizado seguindo o manual do usuário do AERMAP, AERMET e AERMOD, disponíveis pela US EPA. Para executar o sistema AERMOD no software apresentado, o arquivo executável de cada módulo também foi obtido pela US EPA. O processamento AERMOD no software disponibiliza o cadastro de definições constando características do poluente e definição dos arquivos de saída apontados na Figura 48. O cadastro de parâmetros define o tipo e características de cada fonte emissora cadastrada. Após a execução do processador é possível exportar os arquivos gerados pelo sistema AERMOD.

Figura 48 – Sistema AERMOD

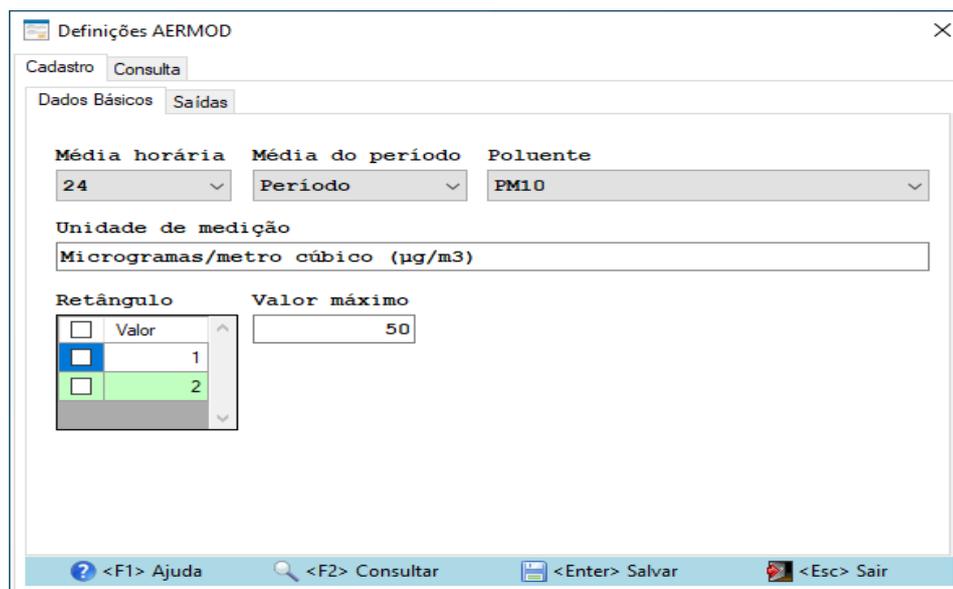


Fonte: Autoria própria (2024)

4.3.1 Definições

O cadastro de definições permite o cadastro de média horária e de todo período, poluente e unidade de medição. O retângulo controla a opção de saída para tabelas de resumo de alto valor por receptor. O valor máximo controla a opção de saída para tabelas de resumo de valor máximo geral ilustrados na Figura 49.

Figura 49 – Cadastro de definições AERMOD



Fonte: Autoria própria (2024)

O cadastro de saídas proporciona a configuração dos arquivos de saída para serem gerados. Neste constam o tipo de saída, média horária ou do período de simulação e valor padrão da qualidade do ar. O critério do receptor, especifica quais valores altos de curto prazo devem ser emitidos. O valor (Primeiro) é fixado para o primeiro valor mais alto em cada receptor e o valor (Segundo) para o segundo mais alto. O valor máximo identifica o número de valores altos ou concentrações a serem classificadas conforme Figura 50.

Figura 50 – Cadastro de saídas AERMOD

ID	Saída	Média temporal	Critério	Descrição
1	MAXIFILE	24	50,0	PM10_24_MAXI.PLT
2	POSTFILE	PERIOD	PLOT	PM10_PERIOD_POST.PLT
3	PLOTFILE	PERIOD		PM10_PERIOD_PLOT.PLT
4	RANKFILE	24	50	PM10_24_50_RANK.PLT

Fonte: Autoria própria (2024)

4.3.2 Parâmetros

A Figura 51 demonstra o cadastro de parâmetros e taxa de emissão para cada fonte emissora. O software proporciona trabalhar com fontes do tipo ponto, abordando propriedades de chaminé, tipo área, área polígono, área círculo abrangendo uma área de estudo, linha, poço aberto e volume.

O modelo AERMOD inclui várias opções para especificar formas de uma fonte do tipo área. Esse tipo pode ser usado para especificar áreas retangulares que também podem ter um ângulo de rotação especificado em relação a uma orientação norte-sul. O tipo AREAPOLY pode ser usado para especificar uma fonte de área como um polígono de formato irregular de até 20 lados. Para especificar uma fonte de área em forma circular, modelada como um polígono de área igual a 20 lados é recomendável o uso do tipo AREACIRC.

Fontes do tipo linha são utilizadas para realizar simulações próximas de rodovias. O tipo poço aberto, pode ser recorrido para modelagem com estações de tratamento de esgoto e fontes industriais representadas pelo tipo volume.

Figura 51 – Cadastro de parâmetros AERMOD

<input type="checkbox"/>	ID	Descrição	TIPO	X	Y
<input type="checkbox"/>	01	BRF	POINT	223388,158	7259860,793
<input type="checkbox"/>	02	CARGIL ALIM...	POINT	226527,240	7264196,760
<input type="checkbox"/>	03	DE HEUS IND...	POINT	217568,680	7260176,570
<input type="checkbox"/>	04	TECTRON IM...	POINT	226556,730	7260741,690
<input type="checkbox"/>	05	HUMUSFERTI...	POINT	220542,940	7256701,870
<input type="checkbox"/>	06	BOMBONATT...	POINT	217691,610	7260127,890
<input type="checkbox"/>	07	COMPENSAD...	POINT	227125,440	7260495,800
<input type="checkbox"/>	08	VACCINAR IN...	POINT	227349,710	7258882,730
<input type="checkbox"/>	09	VIFRAN FÁBR...	POINT	223516,320	7261626,860
<input type="checkbox"/>	10	COMERCIAL ...	POINT	213434,840	7266521,280
<input type="checkbox"/>	11	PRATI DONA...	POINT	220739,610	7263409,740

Ponto	Área	Área Polígono	Área Círculo	Linha	Poço aberto	Volume
QS - g/s	(HS) - m	(TS) - K	(VS) - m/s	(DS) - m		
1,000	25,000	481,750	3,500	0,400		

Fonte: Autoria própria (2024)

4.3.3 Execução AERMOD

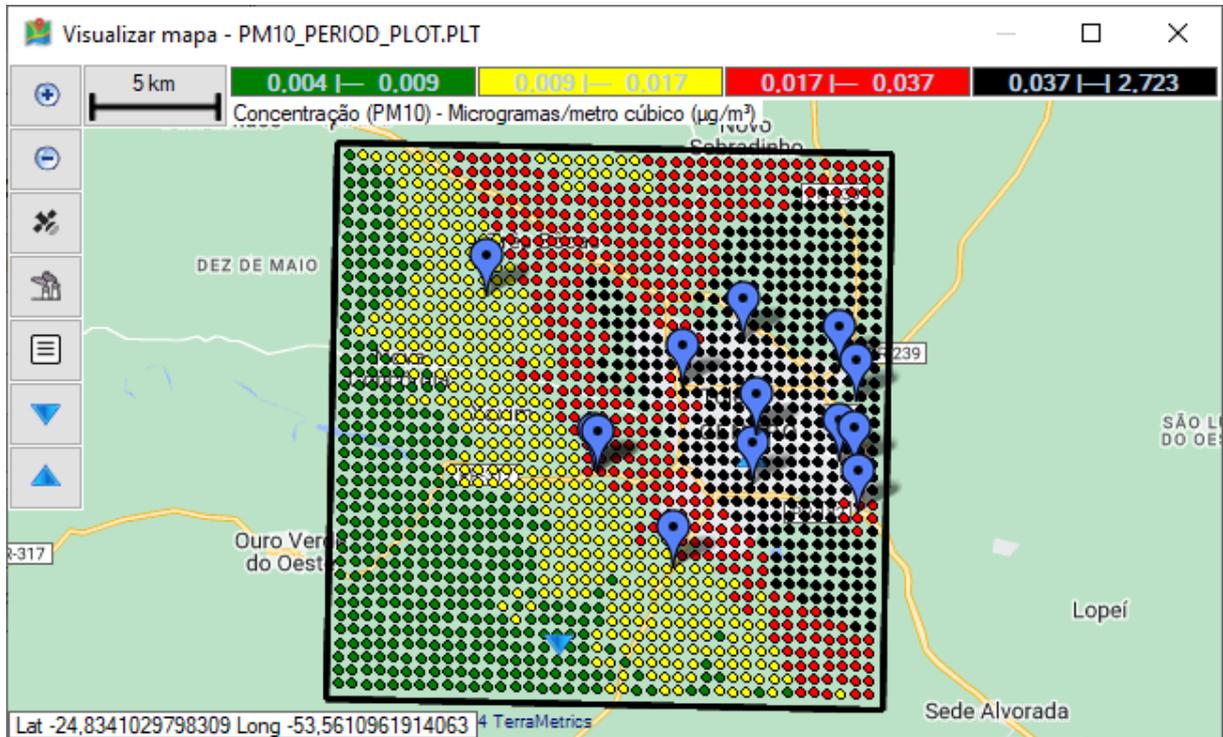
O processo de execução do processador principal é efetuado de modo automático, gerando os arquivos de saída de acordo com os registros do cadastro de definições do AERMOD referido na Figura 49. Os arquivos de saída gerados, podem ser exportados para uma possível investigação dos valores.

4.3.4 Plotagem

Para facilitar análises exploratórias, o software proporciona a plotagem de mapas com o uso do gráfico post plot das máximas concentrações médias do período e poluente desejado exposto na Figura 52. O visualizador de mapas possibilita observar as concentrações geradas em classes auxiliando na interpretação e localização da região de estudo mais afetada. A opção de alternar estilos de mapas do visualizador de mapas do AERMAP observado na Figura 40, também foi aplicado para o AERMOD. Com o método de camadas, as classes, fontes emissoras, menor e

maior concentração média, podem ser habilitadas ou não dando maior clareza na investigação dos resultados.

Figura 52 – Máximas médias do período 2019/1 do poluente PM₁₀



Fonte: Autoria própria (2024)

5 AVALIAÇÃO E RESULTADOS

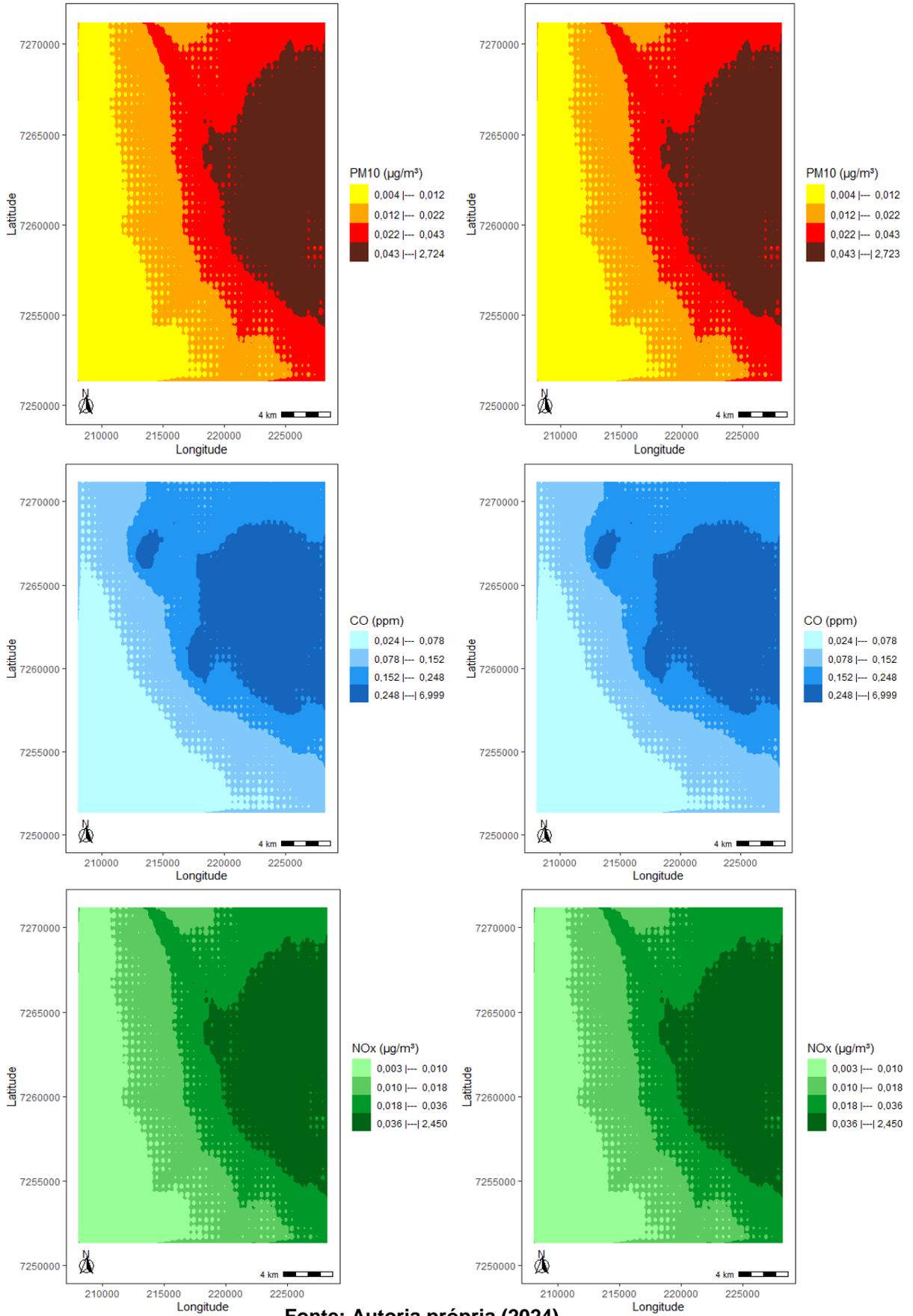
5.1 Plotagem e comparação dos mapas

Nas Figuras entre 53 e 58 foram elaborados os mapas de contorno utilizando o interpolador IDW das observações do software de referência posicionados ao lado esquerdo e observações do software avaliado ao lado direito. Os dados coletados são das máximas concentrações médias dos poluentes: PM₁₀, CO e NO_x e classificados em quartis na ordem crescente das máximas evidenciadas nas legendas. Os dados são referentes ao período de 2019 até 2021 contendo dois períodos por ano.

5.1.1 Resultados em 2019

Analisando os mapas da Figura 53 referente ao primeiro período de 2019, foi possível identificar uma diferença nos decimais entre as máximas concentrações médias em microgramas por metro cúbico do terceiro quartil e a máxima dos dados do mapa observado com o de referência do poluente PM₁₀. Os demais poluentes tiveram uma semelhança considerável entre os mapas observados.

Figura 53 – Máximas médias do período 2019/1 - Referência vs Avaliado



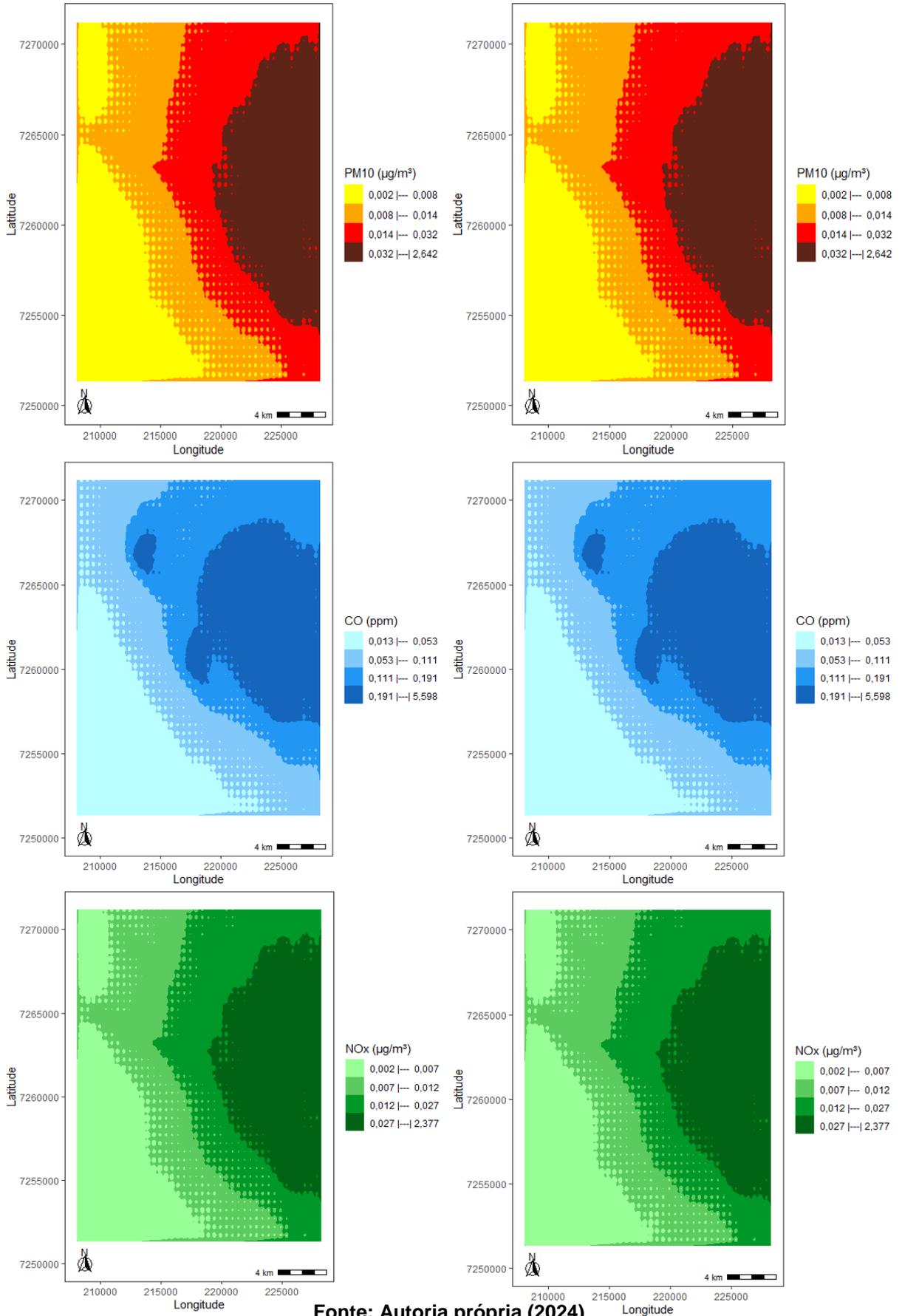
Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 54 apresenta os mapas referentes ao segundo período de 2019. Neste, podemos notar uma semelhança notável em todos os dados interpolados dos mapas do software avaliado com os de referência.

Percebeu-se uma diferença entre os mapas do poluente PM_{10} do primeiro período da Figura 53 com o segundo período referente Figura 54. Houve uma diferença pequena entre as três primeiras classificações dos dados interpolados e uma maior máxima concentração média na região noroeste para o segundo período destacando-se a segunda classificação conforme a legenda apresentada.

O poluente CO teve pouca diferença entre os mapas comparados dos dois períodos, tendo como destaque uma maior máxima concentração média de partes por milhão para o primeiro período em todas as classificações da legenda. Foi verificado uma maior concentração média de microgramas por metro cúbico na região noroeste para o segundo período do poluente NO_x comparado com o primeiro período como demonstrado na segunda classificação da legenda. O primeiro período teve uma maior concentração na região norte indicado pela segunda classificação retratada.

Figura 54 – Máximas médias do período 2019/2 – Referência vs Avaliado

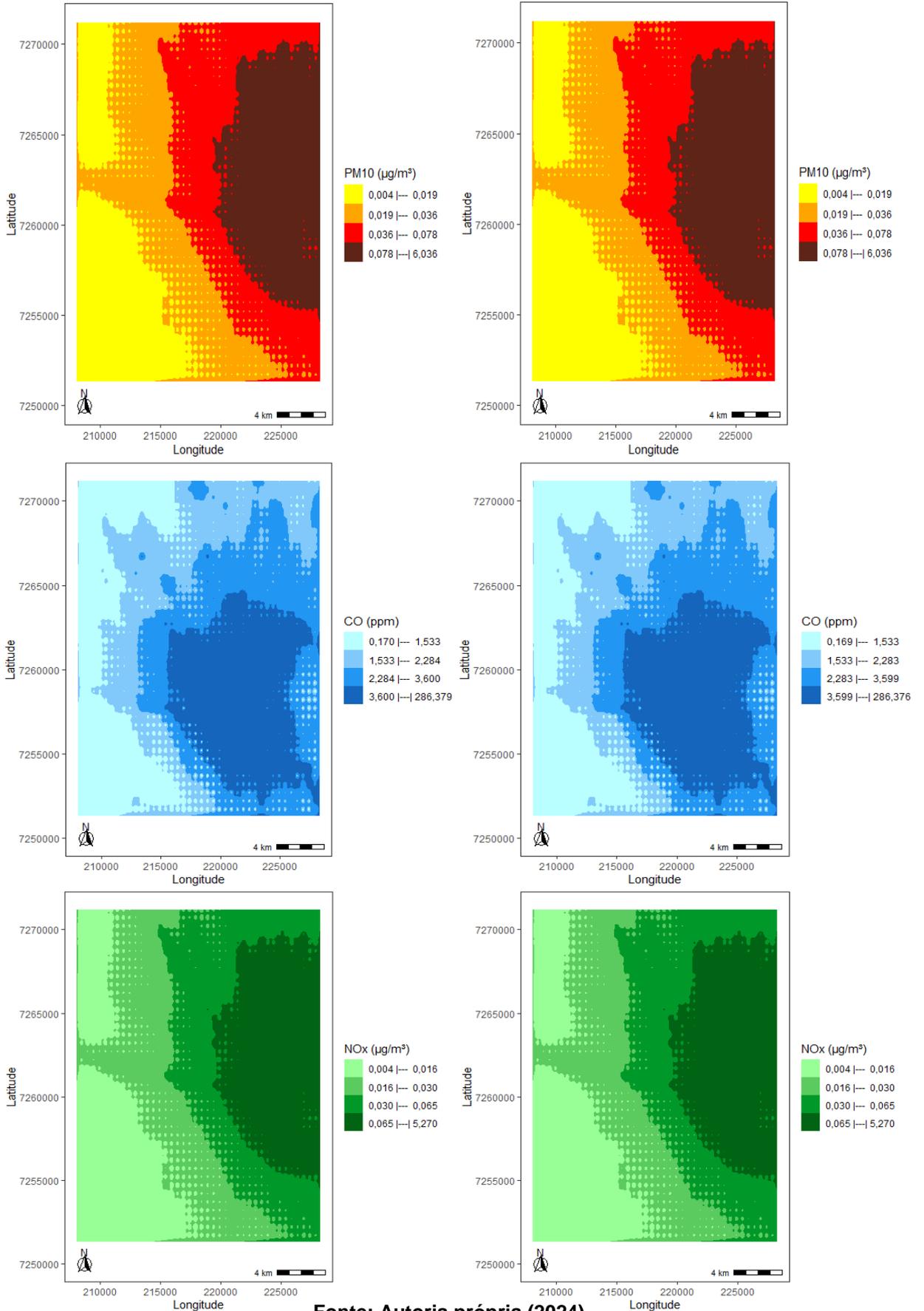


Fonte: Autoria própria (2024)

5.1.2 Resultados em 2020

A Figura 55 é representada pelos mapas do primeiro período de 2020 refletindo uma diferença não significativa nas casas decimais dos valores das concentrações médias do poluente CO em todas as classificações dos mapas avaliados para com os de referências. Os poluentes PM₁₀ e NO_x obtiveram os mesmos valores garantindo uma semelhança relevante.

Figura 55 – Máximas médias do período 2020/1 – Referência vs Avaliado



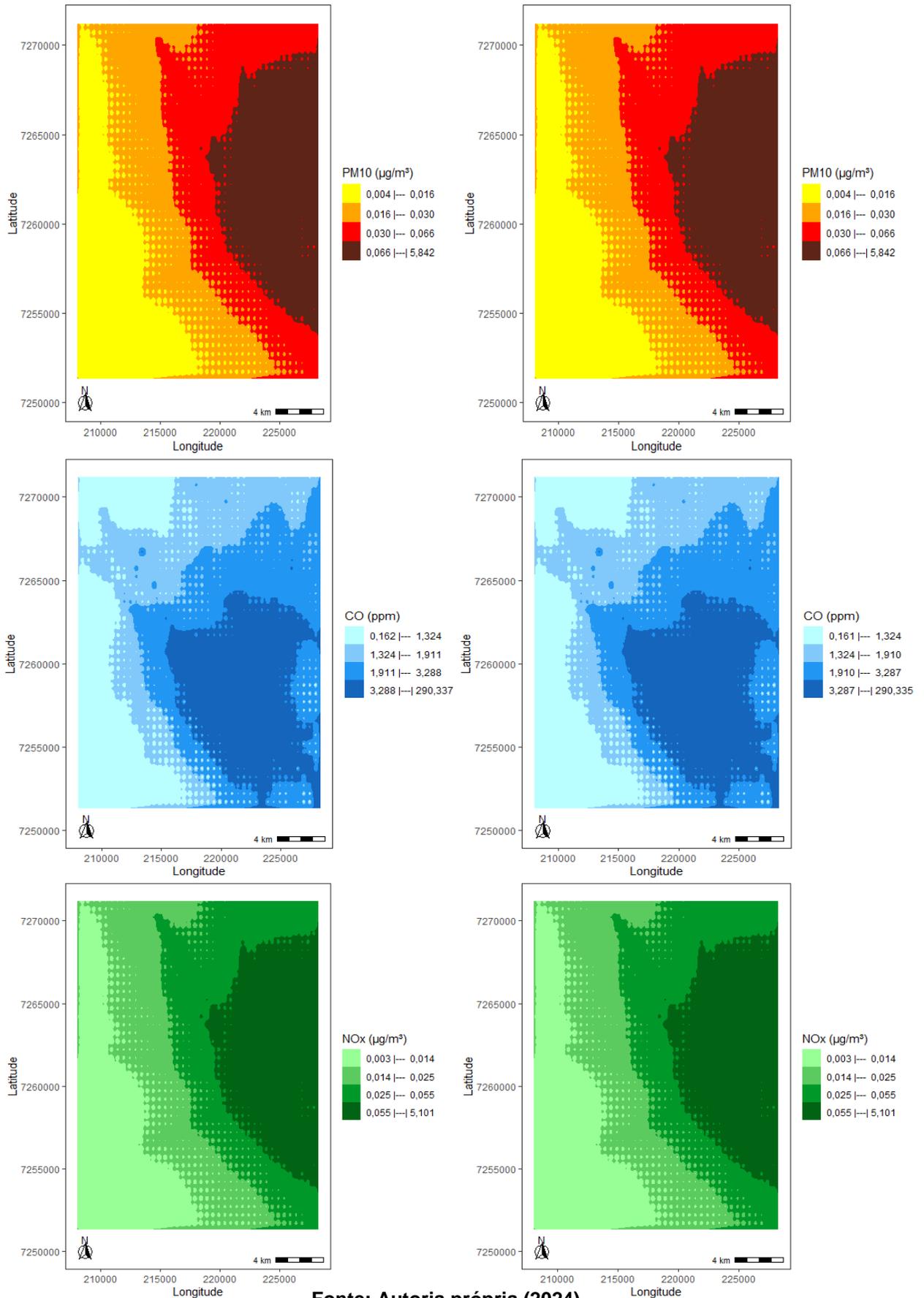
Fonte: Autoria própria (2024)

Para o segundo período de 2020 destacado na Figura 56, teve uma conformidade referente ao primeiro período para todos os poluentes dos mapas avaliados com os referenciados.

A comparação mediante o primeiro período demonstrado na Figura 55 e segundo período pela Figura 56, como resultado pode constatar maior concentração média no primeiro período em todas as classificações, maior máxima média localizado na região leste da segunda classificação do primeiro período para o PM_{10} . Houve diferença em todas as classificações para o CO, onde o primeiro período teve uma maior máxima concentração média na região norte correspondido pela terceira classificação.

No segundo período, a região sudeste teve uma maior concentração determinado pela última classificação. O NO_x teve uma diferença mínima nas casas decimais das máximas médias em todas as classificações. O primeiro período teve uma maior média na região oeste caracterizado pela segunda classificação. O segundo período teve uma maior concentração referente à segunda classificação posicionado ao norte do mapa.

Figura 56 – Máximas médias do período 2020/2 – Referência vs Avaliado

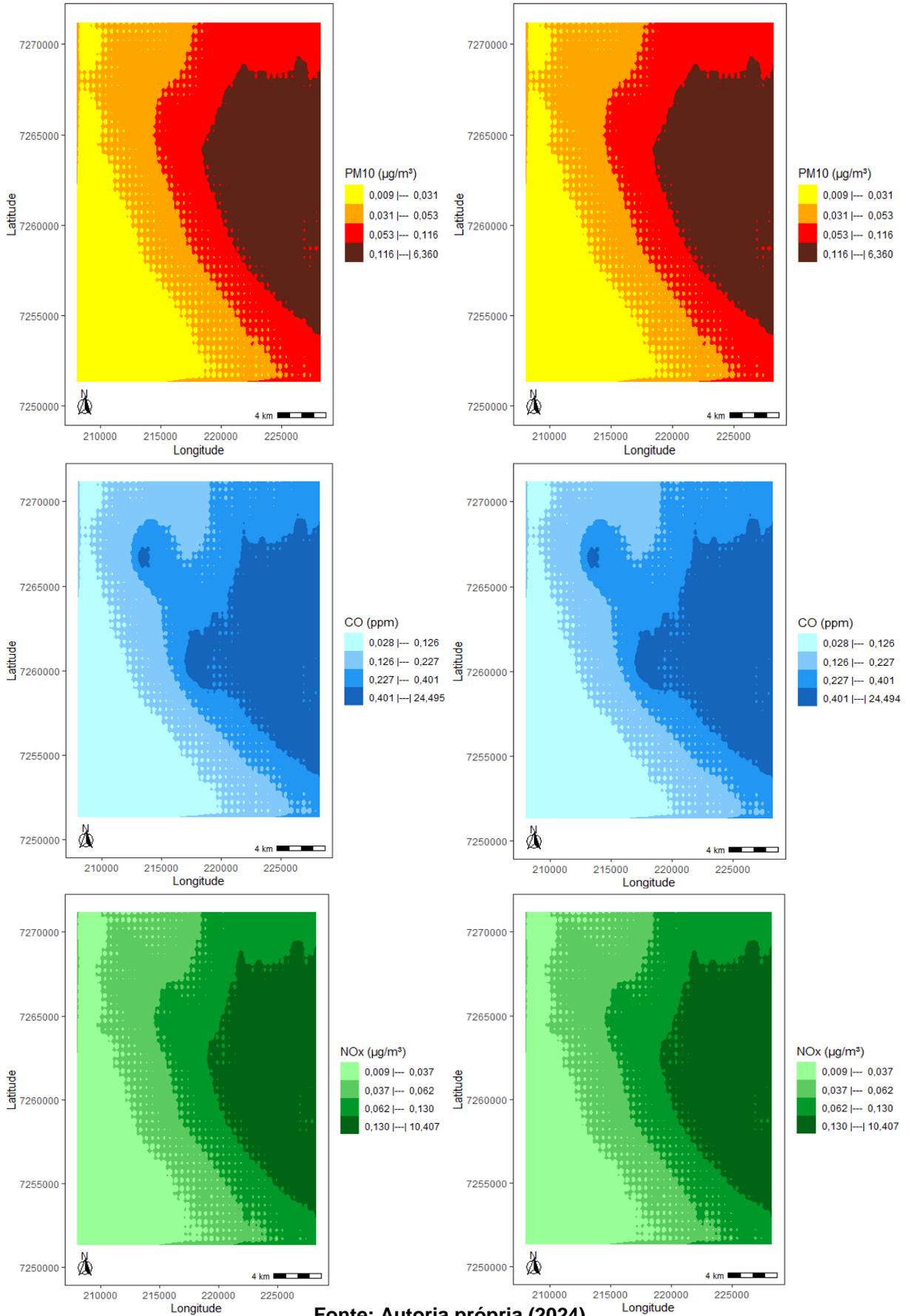


Fonte: Autoria própria (2024)

5.1.3 Resultados em 2021

O primeiro período de 2021 foi correspondido pela Figura 57 e considerou uma semelhança evidente dos poluentes PM_{10} e NO_x dos mapas de referência com os avaliados. O CO sobressaiu-se com diferença não significativa nas casas decimais das máximas médias da última classificação entre os dois mapas analisados.

Figura 57 – Máximas médias do período 2021/1 – Referência vs Avaliado



Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 58 mencionou as simulações do segundo período de 2021 e foi considerado como o período com maior similaridade de todos os poluentes para todo o período avaliado entre os mapas de referências e avaliados.

A comparação entre o primeiro período exibido na Figura 57 e segundo período pela Figura 58, verificou uma máxima média um pouco maior em todas as classificações para o primeiro período referente ao PM_{10} . Maior concentração na região noroeste para o primeiro período indicado pela segunda classificação. O CO alcançou uma maior máxima média em todas as classificações para o primeiro período.

Os mapas mantiveram um padrão de concentração nas regiões, ressaltando um leve aumento na região norte para o segundo período de acordo com a terceira classificação. Foi identificado uma maior máxima média para o NO_x em todas as classificações para o primeiro período. O mapa do segundo período teve um aumento mínimo de máxima média na região noroeste em concordância com a segunda classificação.

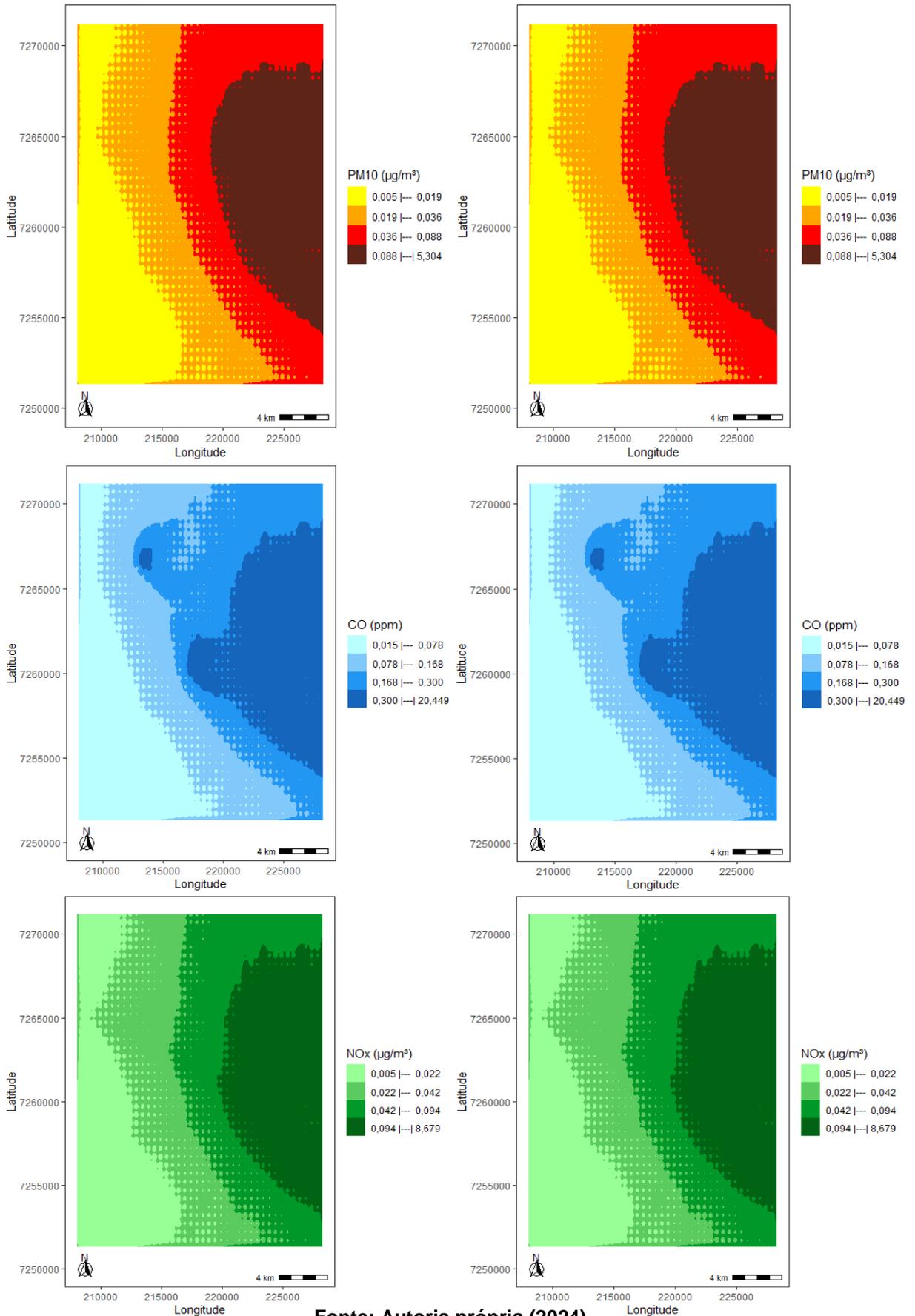
Em todo o período de simulação realizado, as máximas concentrações médias dos poluentes permaneceram na região leste da área de estudo. Esse fato pode ser notado através da Figura 52, onde nessa região é possível visualizar um maior número de fontes emissoras e o município de Toledo-PR.

A diferença nos decimais pode indicar uma discrepância nos dados entre os mapas observados e os mapas de referência, que pode ser influenciada por fatores como métodos de interpolação ou qualidade dos dados.

A comparação entre os períodos de cada ano teve como objetivo, a análise do impacto do componente sazonal. Mesmo sendo aplicado taxa de emissão igual para os dois períodos de um poluente é esperado que os mapas de contorno sejam diferentes porque são dois períodos diferentes. Essa diferença é influenciada pela sazonalidade e isso impacta na dispersão.

Os comportamentos diferentes dos poluentes atmosféricos, como PM_{10} , CO e NO_x , podem ser explicados por uma combinação de fatores relacionados às fontes de emissão, às propriedades físico-químicas dos poluentes e aos processos atmosféricos. Na sequência estão algumas explicações possíveis para esses comportamentos distintos.

Figura 58 – Máximas médias do período 2021/2 – Referência vs Avaliado



Fonte: Autoria própria (2024)

5.1.4 Fontes de emissão

Cada poluente pode ter diferentes fontes de emissão. Por exemplo, o CO é frequentemente emitido por veículos automotores e processos de combustão incompleta, enquanto o PM₁₀ pode ter fontes variadas, incluindo poeira atmosférica, veículos, processos industriais e queima de biomassa. O NO_x é comumente emitido por veículos, processos industriais e queima de combustíveis fósseis. As diferenças nas fontes de emissão podem resultar em padrões espaciais distintos para cada poluente, dependendo da distribuição geográfica dessas fontes.

5.1.5 Propriedades físico-químicas

Os poluentes têm diferentes propriedades físico-químicas, como tamanho de partícula, peso molecular e reatividade química. Essas propriedades afetam a capacidade dos poluentes de se dispersarem na atmosfera e de interagirem com outros componentes do ar. Por exemplo, o PM₁₀ consiste em partículas sólidas ou líquidas dispersas no ar, o que pode resultar em padrões de deposição diferentes em comparação com poluentes gasosos como o CO e o NO_x.

5.1.6 Processos atmosféricos

Os padrões de dispersão dos poluentes na atmosfera são influenciados por uma variedade de processos atmosféricos, como transporte convectivo, advecção de massa, deposição úmida e seca, e interações químicas. Fatores meteorológicos, como padrões de vento, estabilidade atmosférica e inversões térmicas, podem influenciar significativamente a dispersão dos poluentes e a formação de padrões espaciais distintos.

5.1.7 Interações entre poluentes

Os poluentes atmosféricos muitas vezes interagem entre si e com outros componentes do ar. Por exemplo, o CO pode reagir com outros poluentes para formar O₃, enquanto o NO_x pode reagir com COVs para formar ozônio e partículas secundárias. Essas interações podem resultar em padrões espaciais complexos e variáveis para diferentes poluentes, dependendo das condições locais e dos processos químicos envolvidos.

5.1.8 Diferença dos poluentes no mesmo período

Observamos que o comportamento do PM_{10} parece ser semelhante ao do NO_x , conforme demonstrado pelos gráficos de contorno, enquanto o CO apresenta um padrão de contorno bastante diferente em relação ao PM_{10} e ao NO_x . Essa observação sugere que os poluentes PM_{10} e NO_x podem estar relacionados em termos de fontes de emissão, processos de dispersão atmosférica ou padrões de deposição. Por outro lado, o CO parece ter uma dinâmica distinta, o que pode indicar fontes de emissão diferentes ou processos de transporte e dispersão específicos para esse poluente.

Outro ponto verificado na Tabela 4, mostra que o CO foi o poluente que menos teve valores nulos de taxa de emissão entre os poluentes em todo o período de simulação. Essa diferença de valores faltantes também pode ter influenciado na sua atuação comparado com os outros poluentes.

Os fatores para uma compreensão sobre essas diferenças poderiam envolver a consideração de fontes de emissão específicas para cada poluente, bem como os padrões climáticos e de vento que influenciam a dispersão dos poluentes na atmosfera e suas implicações para a qualidade do ar e saúde pública.

5.2 Índice Kappa ponderado

Para a validação numérica dos conjuntos de dados interpolados avaliados com os de referências, foi aplicado o índice Kappa ponderado para variáveis categóricas ordinais com o auxílio do software R. Foram avaliadas as colunas com as coordenadas (X e Y) e coluna (Z) indicado pela máxima concentração média do poluente. O método foi adotado para todos os poluentes de todos os períodos de simulações e como resultado, foi obtido um índice Kappa arredondado ($k = 1$) para todos os elementos amostrais. De acordo com a classificação do índice Kappa definido por McHugh (2012), o resultado do teste Kappa mostrou que há um nível de confiabilidade quase perfeito para todas as variáveis, um intervalo de confiança inferior e superior 95% ($IC = 1$), $p < 0.05$ e uma concordância de 100% condizente referência abordada dos dados avaliados. A Tabela 5 apresenta os valores Kappa dos períodos e poluentes observados.

Tabela 5 – Similaridade entre os mapas gerados por referência e avaliado utilizando o índice Kappa ponderado (\hat{K}_w)

Período	Poluente	(\hat{K}_w)
2019/1	PM ₁₀	0.99
2019/2	PM ₁₀	0.99
2019/1	CO	0.99
2019/2	CO	0.99
2019/1	NO _x	0.99
2019/2	NO _x	0.99
2020/1	PM ₁₀	0.99
2020/2	PM ₁₀	1.00
2020/1	CO	0.98
2020/2	CO	0.98
2020/1	NO _x	0.99
2020/2	NO _x	1.00
2021/1	PM ₁₀	0.99
2021/2	PM ₁₀	0.99
2021/1	CO	0.99
2021/2	CO	0.99
2021/1	NO _x	0.99
2021/2	NO _x	1.00

Fonte: Autoria própria (2024)

6 CONCLUSÃO

É possível concluir que os objetivos foram alcançados por meio da geração dos arquivos de entrada de forma automática do sistema AERMOD e assim elevando o grau de conhecimentos aplicados e adquiridos no decorrer do desenvolvimento desta ferramenta de software. O sistema solucionou os problemas levantados referente à complexidade na criação dos arquivos de entrada do sistema de modelagem AERMOD. O usuário terá um maior controle e gerenciamento das simulações realizadas conforme o período, poluente e arquivos necessários para cada módulo de processamento de forma gratuita.

Nesse sentido, a eficiência na preparação de arquivos de terreno e meteorológicos, contribui para os pesquisadores da área ambiental e fontes emissoras na realização de projetos de gestão da qualidade do ar. Através de concentrações de determinado poluente simulado, existe a possibilidade de que elevadas concentrações sejam evitadas pela exposição da população. Será possível oferecer condições para as empresas de prever investimento em equipamentos com o objetivo de reduzir emissões na atmosfera.

O sistema oferece uma automatização nos processos de forma amigável, possibilitando a visualização das concentrações médias do poluente de cada arquivo gerado através de mapas de contorno. Dessa forma, é possível obter uma análise espacial de dados relacionados à origem e direção da pluma de dispersão do poluente, ocasionada pelas fontes emissoras definidas no sistema. Os resultados da pesquisa poderão auxiliar universidades com pesquisas mais de ponta em estudos científicos e profissionais de consultorias ambientais que fazem estudos para licenciamento ambiental, através da redução de custos com o uso de software proprietário e o incentivo de novos estudos sobre melhorias na qualidade do ar.

Através do estudo realizado é possível concluir que o software é válido, porém com diferença nas casas decimais dos valores das máximas concentrações médias dos arquivos avaliados com os de referência, mas que não são significantes podendo ser confirmados através da semelhança na comparação dos mapas plotados.

7 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para trabalhos conforme dados alcançados nessa pesquisa, a implementação da grade de modelagem polar e polar discreta de acordo com o manual do usuário AERMAP disponível pela US EPA (2018). A grade polar é uma matriz de pontos identificados por direção e distância de uma origem definida pelo usuário.

Implementação do componente *Building Profile Input Program for PRIME* (BPIP/PRIM). É um programa de dimensões multi-edifícios que incorpora os procedimentos técnicos *Good Engineering Practice* (GEP) para aplicações *PRIME* como segue o manual do usuário BPIP disponível pela US EPA (1995). Serve para calcular valores de *downwash* para entrada no algoritmo *PRIME* ou seja, o arquivo de entrada do processador principal AERMOD. Ele calcula as recirculações que a pluma sofre caso exista prédio na frente de alguma fonte emissora. Dessa forma, consegue considerar o efeito do prédio.

REFERÊNCIAS

- AHMED, N. F.; JAF, S. F. A. Air Desperation Quality by Using AERMOD Software Program. **Global Scientific Journal of Computer Science**, v. 7, n. 2, p. 1-5, sep. 2022.
- ALLAMURATOV, Maxmud; TLEPBERGENOVA, Perizat. Atmosfera's pollution as an actual global problem. **Innovative developments and research in education**, v. 2, n. 14, p. 42-48, feb. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- AUGUSTO, M. R.; *et al.* Modeling of H₂S dispersion in Brazil with Aermod: Case study of water resource recovery facility in south of Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, p. 497-504, jan. 2020.
- BIVAND, R.; PEBESMA, E.; GOMEZ-RUBIO, V. Applied spatial data analysis with R, Second edition. **Springer**, NY, 2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA**: versão 491/2018. Brasília, 2018. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=766. Acesso em: 08 ago. 2023.
- BSEIBSU, A.; *et al.* Numerical simulation of dispersion patterns and air emissions for optimal location of new industries accounting for environmental risks. **Pollutants**, v. 2, n. 4, p. 444-461, nov. 2022.
- CAPELLI, L.; SIRONI, S. Combination of field inspection and dispersion modelling to estimate odour emissions from an Italian landfill. **Atmospheric Environment**, v. 191, p. 273–290, 1 out. 2018.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório da Qualidade do Ar do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2024. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 05 feb. 2024.
- CIPOLLA, M.; *et al.* Air pollution and lung diseases. **Clinical Handbook of Air Pollution-Related Diseases**, p. 327-339, feb. 2018.
- COELHO, M. S.; *et al.* Air Quality Impact Estimation Due to Uncontrolled Emissions from Capuava Petrochemical Complex in the Metropolitan Area of São Paulo (MASP), Brazil. **Atmosphere**, v. 14, n. 3, p. 577, mar. 2023.
- COHEN, J. Weighted kappa: nominal scale agrément with provision for scale disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin Journal*, v. 70, n. 4, p. 213-220, oct. 1968
- CONTI, C.; GUARINO, M.; BACENETTI, J. Measurements techniques and models to assess odor annoyance: A review. **Environment international**, v. 134, p. 105261, jan. 2020.

DA SILVA, T. A. B.; *et al.* Mapping land use and occupation in the municipality of Toledo-PR. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, São José dos Pinhais, v. 17, n. 2, p. 01-13, jan. 2024.

DUAN, Z.; SCHEUTZ, C.; KJELDSEN, P. Trace gas emissions from municipal solid waste landfills: A review. **Waste Management**, v. 119, p. 39-62, jan. 2021.

DUNNINGTON, D. Package **ggspatial**: Spatial Data Framework for ggplot2. R package version 1.1.9, 2023.

ENVIRONMENTAL, LAKES. WRPLOT View. 2018. **Freeware Wind Rose Plots for Meteorological Data**. Disponível em: https://www.weblakes.com/products/wrplot/resources/lakes_wrplot_view_user_guide.pdf. Acesso em: 8 ago. 2023.

ESLAMI DOOST, Z.; *et al.* Dispersion of SO₂ emissions in a gas refinery by AERMOD modeling and human health risk: a case study in the Middle East. **International Journal of Environmental Health Research**, p. 1-14, jan. 2023.

ESLAMIDOOST, Z.; *et al.* Dispersion of NO₂ pollutant in a gas refinery with AERMOD model: A case study in the Middle East. **Journal of Air Pollution and Health**, sep. 2022.

FLEISS, J. L.; COHEN, J. The Equivalence of Weighted Kappa and the Intraclass Correlation Coefficient as Measures of Reliability. **Educational and Psychological Measurement**, v. 33, n. 3, p. 613-619, oct. 1973.

GHOLAMI, Fatemeh *et al.* Technologies for the nitrogen oxides reduction from flue gas: A review. **Science of the Total Environment**, v. 714, p. 136712, apr. 2020.

GRÄLER, B.; PEBESMA, E.; HEUVELINK, G. Spatio-Temporal Interpolation using gstat. **The R Journal**, 8, 204-218, 2016.

HIGAZY, M.; *et al.* Analytical study of Fuel switching from Heavy Fuel oil to Natural Gas in clay brick factories at Arab Abu saed, Greater Cairo. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 10081, jul. 2019.

HIJMANS, R. Package **raster**: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 3.6-27, 2024.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras. **Empresas Cadastradas/Potencial de Utilização e Poluição**. 4 ago. 2020. Disponível em: <https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/emissoes-de-poluente-atmosfericos/resource/4698feda-300a-4019-a758-be7b002f5ca9>. Acesso em: 11 ago. 2023.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Nível geográfico dos municípios. **Cidades e Estados: Toledo**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/toledo.html>. Acesso em: 27 ago. 2024.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. **Arquivo meteorológico de superfície**. 19 nov. 1992. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 8 ago. 2024.

- KIM, D.; *et al.* Air pollutants and early origins of respiratory diseases. **Chronic diseases and translational medicine**, v. 4, n. 2, p. 75-94, jun. 2018.
- KOTTNER, J.; *et al.* Guidelines for Reporting Reliability and Agreement Studies (GRRAS) were proposed. **International journal of nursing studies**, 48(6), 661-671, jan. 2011.
- KVALSETH, Tarald. An Alternative Interpretation of the Linearly Weighted Kappa Coefficients for Ordinal Data. **Psychometrika** 83, 618–627, may 2018.
- LANDRIGAN, Philip J.; *et al.* The Lancet Commission on pollution and health. **The lancet**, v. 391, n. 10119, p. 462-512, feb. 2018.
- LEE, H.; *et al.* Climate change 2023 synthesis report summary for policymakers. **CLIMATE CHANGE 2023 Synthesis Report: Summary for Policymakers**, jun. 2024.
- LEELÓSSY, A.; *et al.* A review of numerical models to predict the atmospheric dispersion of radionuclides. **Journal of environmental radioactivity**, v. 182, p. 20-33, feb. 2018.
- LIANG, L. Calibrating low-cost sensors for ambient air monitoring: Techniques, trends, and challenges. **Environmental Research**, v. 197, p. 111163, jun. 2021.
- LOPES, R. L.; *et al.* A dimensão do agronegócio em Toledo-PR: Uma Análise Inter-regional de insumo produto. *In*: SHIKIDA, P. F. D. A.; GALANTE, V. A.; CATTELAN, R. **Agronegócio paranaense: potencialidades e desafios II**. Foz do Iguaçu: IDESF, 2020.
- MACÊDO, M. F. M.; RAMOS, A. L. D. Vehicle atmospheric pollution evaluation using AERMOD model at avenue in a Brazilian capital city. **Air quality, atmosphere & health**, v. 13, p. 309-320, jan. 2020.
- MANISALIDIS, I.; *et al.* Environmental and health impacts of air pollution: a review. **Frontiers in public health**, v. 8, p. 14, feb. 2020.
- MARTINS, A. P. G.; *et al.* Infraestrutura verde para monitorar e minimizar os impactos da poluição atmosférica. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 31-57, aug. 2021.
- MCHUGH, M. L. Interrater reliability: the kappa statistic. **Biochemia medica**, v. 22, n. 3, p. 276-282, aug. 2012.
- MEI, G.; TIAN, H. Impact of data layouts on the efficiency of GPU-accelerated IDW interpolation. **SpringerPlus** 5, 104, feb. 2016.
- MESONET (Base de Dados Ambiental de Iowa). Universidade Estadual de Ciência e Tecnologia de Iowa dos Estados Unidos. **Arquivo meteorológico de superfície**. 2001. Disponível em: <https://mesonet.agron.iastate.edu/>. Acesso em: 16 jan. 2024.
- MEYER, D.; *et al.* Package **vcd**: Visualizing Categorical Data. R package version 1.4-12, 2023.

NAKHJIRI, A.; KAKROODI, A. A. Air pollution in industrial clusters: A comprehensive analysis and prediction using multi-source data. **Ecological Informatics**, p. 102504, jan. 2024.

NAZARENKO, Y.; PAL, D.; ARIYA, P. A. Air quality standards for the concentration of particulate matter 2.5, global descriptive analysis. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 99, n. 2, p. 125, fev. 2021.

NOWAK, David J.; *et al.* Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 29, p. 40-48, jan. 2018.

ONOFRIO, M.; SPATARO, R.; BOTTA, S. A review on the use of air dispersion models for odour assessment. **International Journal of Environment and Pollution**, v. 67, n. 1, p. 1-21, jul. 2020.

ORELLANO, P.; REYNOSO, J.; QUARANTA, N. Short-term exposure to sulphur dioxide (SO₂) and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. **Environment international**, v. 150, p. 106434, may 2021.

PANDEY, G.; SHARAN, M. Accountability of wind variability in AERMOD for computing concentrations in low wind conditions. **Atmospheric Environment**, v. 202, p. 105-116, apr. 2019.

PEBESMA, E. Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. **The R Journal**, 10(1), 439-446, 2018.

PEBESMA, E.; Bivand, R. **Spatial data science: With applications in R**. Chapman and Hall/CRC, 2023.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024.

RAOB (NOAA/ESRL Radiosonde DataBase). National Oceanic and Atmospheric Administration and Earth System Research Laboratory. **Arquivo de radiossondagem**. 1 fev. 2022. Disponível em: <https://ruc.noaa.gov/raobs/>. Acesso em: 8 ago. 2023.

RAPOSO, A.; DE ASSIS, W. L.; NORTON, S. R. Revisão bibliográfica dos efeitos da poluição do ar sobre a saúde humana e uma breve análise crítica da atual legislação brasileira sobre os padrões de qualidade do ar (CONAMA 491/2018). **Cadernos do Leste**, v. 21, n. 21, jan. 2021.

RIDZUAN, N.; *et al.* Visualising urban air quality using AERMOD, CALPUFF and CFD models: a critical review. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 44, p. 355-363, nov. 2020.

SAIRANEN, M.; PURSIO, S. Near field modelling of dust emissions caused by drilling and crushing. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 7, p. 1188, jun. 2020.

SALVA, J.; *et al.* An assessment of the on-road mobile sources contribution to particulate matter air pollution by AERMOD dispersion model. **Sustainability**, v. 13, n. 22, p. 12748, nov. 2021.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change**. 3rd. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.

SHEPARD, D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In: **Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference**, p. 517-524, jan. 1968.

SIAHPOUR, G.; *et al.* Estimation of environmental pollutants using the AERMOD model in Shazand thermal power plant, Arak, Iran. **Toxin Reviews**, v. 41, n. 4, p. 1269-1279, feb. 2022.

SNOUN, H.; KRICHEN, M.; CHÉRIF, H. A comprehensive review of Gaussian atmospheric dispersion models: current usage and future perspectives. **Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration**, v. 8, n. 1, p. 219-242, mar. 2023.

SOFIA, D.; *et al.* Mitigation strategies for reducing air pollution. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 16, p. 19226-19235, apr. 2020.

SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Topographic database. **Arquivo topográfico**. 2004. Disponível em: <https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>. Acesso em: 8 ago. 2023.

STOLFI, A.; *et al.* AERMOD modeling of ambient manganese for residents living near a ferromanganese refinery in Marietta, OH, USA. **Environmental monitoring and assessment**, v. 193, p. 1-16, jun. 2021.

TADANO, Y. S.; *et al.* Dynamic model to predict the association between air quality, COVID-19 cases, and level of lockdown. **Environmental Pollution**, v. 268, p. 115920, jan. 2021.

Tang, W.; *et al.* Kappa coefficient: a popular measure of rater agreement. **Shanghai Archives Psychiatry**, 27, 62-67, feb 2015.

UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) - Laboratório de controle da qualidade do ar. **Plataforma web**: 2024. Florianópolis, 2024. (E-Z AERMOD). Disponível em: <https://hoinaski.prof.ufsc.br/>. Acesso em: 29 fev. 2024.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). User's Guide for the Building Profile Input Program. **BPIP**. 8 feb. 1995. Disponível em: <https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/models/related/bpip/bpipd.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). User's Guide for the AERMOD Terrain Preprocessor. **AERMAP**. 1 apr. 2018. Disponível em: https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/models/related/aermap/aermap_userguide_v18081.pdf. Acesso em: 8 ago. 2023.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor. **AERMET**. 1 jun. 2022. Disponível em: https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/models/met/aermet/aermet_userguide.pdf. Acesso em: 8 ago. 2023.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model. **AERMOD**. 1 jun. 2022. Disponível em: https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/models/preferred/aermod/aermod_userguide.pdf. Acesso em: 8 ago. 2023.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling (SCRAM). **Air Quality Dispersion Modeling – Preferred and Recommended Models**. 3 nov. 2023. Disponível em: <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models#aermod>. Acesso em: 8 ago. 2023.

USHEY, K.; *et al.* Package **rstudioapi**: Safely Access the RStudio API. R package version 0.15.0, 2022.

WAGH, N. D.; *et al.* A Review on Atmospheric Dispersion System for Air Pollutants Integrated with GIS in Urban Environment. **Nature Environment & Pollution Technology**, v. 21, n. 4, feb. 2022.

WARREN, C. J.; *et al.* Evaluation of a revised AERMOD treatment of plume dispersion in the daytime elevated stable layer. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 72, n. 9, p. 1040-1052, aug. 2022.

WICKHAM, H. Package **ggplot2**: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.

WIŚNIEWSKA, M.; SZYŁAK-SZYDŁOWSKI, M. The air and sewage pollutants from biological waste treatment. **Processes**, v. 9, n. 2, p. 250, 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION; *et al.* **WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide**. Geneva: WHO, 2021.

ZORAN, M. A.; *et al.* Assessing the relationship between ground levels of ozone (O₃) and nitrogen dioxide (NO₂) with coronavirus (COVID-19) in Milan, Italy. **Science of The Total Environment**, v. 740, p. 140005, oct. 2020.

APÊNDICE A - Documentação do Software AERMOD Open

SUMÁRIO

1	RESUMO.....	108
2	OBJETIVO	109
3	LEVANTAMENTO DE DADOS.....	110
3.1	Processo AERMAP	110
3.1.1	Cadastro de arquivos (TIF).....	110
3.1.2	Fontes emissoras	110
3.1.3	Domínio e Grade de modelagem.....	111
3.1.4	Execução.....	111
3.2	Processo AERMET	111
3.2.1	Cadastro de arquivos (FSL)	111
3.2.2	Cadastro de arquivos (SAM)	111
3.2.3	Cadastro de definições.....	112
3.2.4	Execução.....	112
3.3	Processo AERMOD	112
3.3.1	Cadastro de definições.....	112
3.3.2	Cadastro de parâmetros	113
3.3.3	Execução.....	113
3.4	Mapa	113
3.4.1	Mapa AERMAP	113
3.4.2	Mapa AERMOD.....	114
3.5	Cópia de segurança	114
3.5.1	Efetuar cópia	114
3.5.2	Restaurar cópia	114
4	DOCUMENTO DE REQUISITOS.....	115
4.1	Visão geral do sistema.....	115
4.2	Requisitos funcionais AERMAP	115
4.2.1	Cadastro de arquivos (TIF).....	115
4.2.2	Fontes emissoras	116
4.2.3	Domínio e Grade de modelagem.....	116
4.2.4	Execução.....	117
4.3	Requisitos funcionais AERMET	117
4.3.1	Cadastro de arquivos (FSL)	117
4.3.2	Cadastro de arquivos (SAM)	118

4.3.3	Cadastro de definições.....	118
4.3.4	Execução.....	119
4.4	Requisitos funcionais AERMOD	119
4.4.1	Cadastro de definições.....	119
4.4.2	Cadastro de parâmetros.....	120
4.4.3	Execução.....	120
4.5	Requisitos funcionais do mapa.....	121
4.5.1	Mapa AERMAP	121
4.5.2	Mapa AERMOD.....	121
4.6	Requisitos funcionais da cópia de segurança.....	121
4.6.1	Efetuar cópia	121
4.6.2	Restaurar cópia	121
4.7	Requisitos de qualidade	122
4.7.1	Confiabilidade.....	122
4.7.2	Eficiência	122
4.7.3	Portabilidade	122
4.7.4	Usabilidade.....	122
5	LISTA DE EVENTOS	123
5.1	Lista de eventos do sistema.....	123
6	LISTA DE MENSAGENS	124
7	DIAGRAMA DE CASO DE USO POR ATOR.....	128
7.1	Diagrama de caso de uso do ator usuário	128
8	DESCRIÇÃO DOS CASOS DE USOS	129
8.1	Manutenir TIF	129
8.2	Manutenir fonte emissora.....	131
8.3	Manutenir domínio/grade.....	132
8.4	Executar AERMAP	134
8.5	Manutenir FSL.....	136
8.6	Manutenir SAM	137
8.7	Manutenir características	139
8.8	Executar AERMET	141
8.9	Manutenir saídas	143
8.10	Manutenir parâmetros.....	145
8.11	Manutenir coordenadas	147
8.12	Executar AERMOD	148

9	DIAGRAMA DE CLASSE	150
9.1	Diagrama de classe do sistema	151
10	DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA.....	152
10.1	Inserir arquivo TIF	153
10.2	Inserir fonte emissora	154
10.3	Inserir domínio/grade de modelagem.....	155
10.4	Executar pré-processador AERMAP.....	156
10.5	Inserir arquivo FSL.....	157
10.6	Inserir arquivo SAM.....	158
10.7	Inserir características de superfície	159
10.8	Executar pré-processador AERMET	160
10.9	Inserir definições de saídas.....	161
10.10	Inserir parâmetros da fonte emissora	162
10.11	Extend use case para inserir coordenadas dos parâmetros.....	163
10.12	Executar processador principal AERMOD	164
11	DESCRIÇÃO FÍSICA DOS DADOS.....	165
11.1	Descrição física dos dados do sistema.....	166
12	IMPLANTAÇÃO	172
	REFERÊNCIAS.....	173

RESUMO

Esta documentação apresenta o desenvolvimento do software AERMOD Open para apoiar e automatizar a geração dos arquivos de entrada do sistema de modelagem de dispersão atmosférica AERMOD, contribuindo assim com profissionais e/ou pesquisadores da área. O software deverá automatizar a configuração dos seus arquivos de entrada para cada etapa de processamento AERMAP, AERMET e o próprio processador principal AERMOD. O profissional terá uma interface amigável facilitando a execução no modelo de dispersão de forma eficaz. O sistema foi implementado em .Net C# através da plataforma de desenvolvimento Visual Studio Community 2022, usando o Banco de Dados Relacional MySQL 5.6.20 e a metodologia utilizada foi a Análise Orientada a Objeto.

OBJETIVOS

O software tem como objetivo principal automatizar a geração dos arquivos de entrada das etapas de processamento AERMAP, AERMET e AERMOD do sistema de modelagem de dispersão atmosférica AERMOD. Através de uma interface amigável, o software permite gerenciar fontes emissoras, arquivos topográficos, meteorológicos e de radiossondagem. Com isso o sistema irá auxiliar os profissionais da área ambiental garantindo maior eficiência nos períodos de simulação para cada poluente configurado.

3. LEVANTAMENTO DE DADOS

Contemplam as subfases de planejamento ou preparação de levantamento ou realização, de análise dos dados ou interpretação e de documentação ou conclusão. Possibilita o uso das técnicas de observação pessoal, questionário, entrevista, seminário, dinâmica de grupo, pesquisa e mista. Determina claramente os requisitos funcionais através da análise dos requisitos.

3.1 Processo AERMAP

3.1.1 Cadastro de arquivos (TIF)

3.1.1.1 O software permite que o usuário possa importar arquivos topográficos com extensão (TIF);

3.1.1.2 O sistema possibilita a exclusão de arquivos conforme a necessidade do usuário;

3.1.1.3 O sistema pode exportar arquivos selecionados.

3.1.2 Fontes emissoras

3.1.2.1 Caso a fonte emissora não esteja cadastrada no sistema o sistema possui um cadastro de fontes emissoras com informações específicas e devidas coordenadas;

3.1.2.2 O sistema pode inserir uma fonte emissora caso este não esteja cadastrado no sistema;

3.1.2.3 O sistema pode alterar os dados da fonte caso esteja cadastrada;

3.1.2.4 O sistema pode excluir a fonte emissora cadastrada e não esteja vinculada com outra tabela no sistema;

3.1.2.5 O sistema pode realizar consultas para realizar possíveis alterações.

3.1.3 Domínio e Grade de modelagem

- 3.1.3.1 O sistema possui um cadastro de domínio e grade de modelagem caso o mesmo não esteja cadastrado no sistema solicitando dados específicos da área de estudo;
- 3.1.3.2 O sistema pode alterar o registro cadastrado caso seja necessário;
- 3.1.3.3 O sistema pode excluir o registro selecionado através da consulta existente no cadastro;
- 3.1.3.4 O sistema pode realizar consultas para realizar possíveis alterações.

3.1.4 Execução

- 3.1.4.1 O sistema permite a execução do pré-processador AERMAP gerando arquivos de saída como: AERMAP.INP, AERMAP.OUT, AERMAP.ROU e AERMAP.SOU;
- 3.1.4.2 O sistema fornece opção para exportar arquivos de saída gerados pelo processamento.

3.2 Processo AERMET

3.2.1 Cadastro de arquivos (FSL)

- 3.2.1.1 O software permite que o usuário possa importar arquivos de rádio sondagem com extensão (FSL);
- 3.2.1.2 O sistema possibilita a exclusão de arquivos conforme a necessidade do usuário;
- 3.2.1.3 O sistema pode exportar arquivos selecionados.

3.2.2 Cadastro de arquivos (SAM)

- 3.2.2.1 O software permite que o usuário possa importar arquivos meteorológicos de superfície horária com extensão (CSV) gerados pelo Instituto Nacional de Meteorologia INMET;

3.2.2.2 O sistema possibilita a exclusão de arquivos conforme a necessidade do usuário;

3.2.2.3 O sistema pode exportar arquivos selecionados;

3.2.2.4 O sistema converte arquivos (CSV) para (SAM) conforme parâmetros definidos no cadastro pelo usuário.

3.2.3 Cadastro de definições

3.2.3.1 Caso não exista definição de características de superfície cadastrado no sistema, o mesmo possui um cadastro de definições com informações de características específicas e devido período para simulações;

3.2.3.2 O sistema pode inserir uma definição caso este não esteja cadastrado no sistema;

3.2.3.3 O sistema pode alterar os dados da definição caso esteja cadastrada;

3.2.3.4 O sistema pode excluir a definição cadastrada e não esteja vinculada com outra tabela no sistema;

3.2.3.5 O sistema pode realizar consultas para realizar possíveis alterações.

3.2.4 Execução

3.2.4.1 O sistema permite a execução do pré-processador AERMET gerando arquivos de saída como AERMET_1.INP, AERMET_2.INP, AERMET_3.INP, AERMET.PFL e AERMET.SFC;

3.2.4.2 O sistema fornece opção para exportar arquivos de saída gerados pelo processamento.

3.3 Processo AERMOD

3.3.1 Cadastro de definições

3.3.1.1 Caso não exista definição de médias temporais, poluentes e arquivos de saída cadastrado no sistema, o mesmo possui um cadastro de definições com informações de médias temporais, horária, de todo período de simulação, poluentes e arquivos de saída;

3.3.1.2 O sistema pode inserir uma definição caso este não esteja cadastrado no sistema;

3.3.1.3 O sistema pode alterar os dados da definição caso esteja cadastrada;

3.3.1.4 O sistema pode excluir a definição cadastrada;

3.3.1.5 O sistema pode realizar consultas para efetuar possíveis alterações.

3.3.2 Cadastro de parâmetros

3.3.2.1 Caso não exista parâmetros definidos para as fontes emissoras cadastradas no sistema, o mesmo possui um cadastro de parâmetros com informações específicas para cada tipo de fonte emissora sendo ponto, área, área polígono ou área círculo;

3.3.2.2 O sistema pode alterar os dados do parâmetro da fonte emissora caso esteja cadastrado;

3.3.2.3 O sistema pode realizar consultas para efetuar possíveis alterações.

3.3.3 Execução

3.3.3.1 O sistema disponibiliza a execução do processador principal AERMOD gerando arquivos de saída como AERMOD.INP, AERMOD.OUT, ERRORS.OUT e AERMOD.PLT;

3.3.3.2 O sistema fornece opção para exportar arquivos de saída gerados pelo processamento.

3.4 Mapa

3.4.1 Mapa AERMAP

3.4.1.1 O sistema possibilita a visualização do mapa da área de estudo, contendo o domínio, grade de modelagem e fontes emissoras cadastradas no sistema.

3.4.2 Mapa AERMOD

3.4.2.1 O sistema permite a visualização do mapa de contorno com as máximas concentrações médias e suas coordenadas de cada poluente e arquivo gerado pelo processador principal AERMOD.

3.5 Cópia de segurança

3.5.1 Efetuar cópia

3.5.1.1 O sistema permite efetuar backup da estrutura, linhas ou registros das tabelas.

3.5.2 Restaurar cópia

3.5.2.1 O sistema pode restaurar cópia de segurança caso exista alguma criada pelo módulo de backup.

4. DOCUMENTO DE REQUISITOS

O documento de Requisitos tem a finalidade de identificar quais as necessidades do usuário e dar uma visão geral das funcionalidades, dos requisitos de qualidade e segurança do sistema.

4.1 Visão Geral do Sistema

O sistema de modelagem AERMOD é um modelo regulatório de dispersão atmosférica gaussiano indicado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos US EPA. Contudo, preparar os arquivos para alimentar o sistema de modelagem não é uma tarefa trivial, propensa a erros e que requer grande atenção por parte dos profissionais. Neste sentido, este sistema gratuito tem por objetivo, automatizar a geração dos arquivos de entrada dos processamentos AERMAP, AERMET e o processador principal AERMOD do sistema de modelagem AERMOD, contribuindo assim com profissionais e/ou pesquisadores da área. Através de uma interface amigável, o sistema permitirá que o profissional consiga configurar seus arquivos de entrada para cada etapa de processamento, facilitando a execução no modelo de dispersão de forma eficaz. Os resultados do sistema, poderão auxiliar universidades através da redução de custos com o uso de software proprietário e o incentivo de novos estudos sobre melhorias na qualidade do ar.

O sistema proposto possui um gerenciamento do pré-processador AERMAP, AERMET e processador principal AERMOD apresentando as seguintes características:

4.2 Requisitos funcionais AERMAP

4.2.1 Cadastro de arquivos (TIF)

4.2.1.1 O sistema deve permitir importação de arquivos topográficos com extensão (TIF) onde os dados vão para o banco de dados onde é gerenciado suas referências, caso o arquivo não tenha cadastro no sistema;

4.2.1.2 O sistema deve emitir mensagem de erro se a extensão do arquivo selecionado para importação for diferente da extensão (TIF);

- 4.2.1.3 O sistema deve registrar o código, arquivo, descrição e status de uso ou não no sistema;
- 4.2.1.4 O sistema possibilita a exclusão de arquivos conforme a necessidade do usuário através de uma mensagem de confirmação ou não para exclusão;
- 4.2.1.5 O sistema pode exportar arquivos selecionados.

4.2.2 Fontes emissoras

- 4.2.2.1 O sistema deve permitir a inserção de fontes emissoras. Os dados vão para o banco de dados onde é gerenciado suas referências, caso não tenha cadastro no sistema;
- 4.2.2.2 O sistema deve emitir mensagem de erro se existir duplicidade dos dados comparados com os gravados no banco tanto na inserção quanto alteração;
- 4.2.2.3 O sistema deve emitir mensagem de erro caso algum campo não seja preenchido corretamente;
- 4.2.2.4 O sistema deve registrar o código, tipo da fonte (ponto, área, área polígono, área círculo) e coordenadas UTM X representando a longitude e Y latitude;
- 4.2.2.5 O sistema deve permitir alteração de fontes emissoras caso esteja cadastrada;
- 4.2.2.6 O sistema permite a exclusão de fonte emissora cadastrada e não esteja vinculada com outra tabela no sistema através de uma mensagem de confirmação ou não para exclusão;
- 4.2.2.7 O sistema permite realizar consultas para efetuar possíveis alterações.

4.2.3 Domínio e Grade de modelagem

- 4.2.3.1 O sistema deve registrar o código, coordenadas X e Y da grade de modelagem inferior esquerdo, colunas, espaçamento, coordenadas X e Y do domínio de modelagem inferior esquerda, coordenadas X e Y superior direita, zona UTM numérica, letra da zona UTM, coordenadas universais de tempo (UTC) e status de uso ou não no sistema;
- 4.2.3.2 O sistema deve permitir inserção da grade e domínio de modelagem onde os dados vão para o banco de dados, caso não tenha cadastro;

- 4.2.3.3 O sistema deve emitir mensagem de erro se existir duplicidade dos dados comparados com os gravados no banco tanto na inserção quanto alteração;
- 4.2.3.4 O sistema deve emitir mensagem de erro caso algum campo não seja preenchido corretamente;
- 4.2.3.5 O sistema deve permitir alteração de registros cadastrados caso sejam necessários;
- 4.2.3.6 O sistema pode excluir o registro selecionado através da consulta existente no cadastro através de uma mensagem de confirmação ou não para exclusão;
- 4.2.3.7 O sistema pode realizar consultas para efetuar possíveis alterações.

4.2.4 Execução

- 4.2.4.1 O sistema deve executar o pré-processador AERMAP gerando arquivos de saída como AERMAP.INP, AERMAP.OUT, AERMAP.ROU e AERMAP.SOU;
- 4.2.4.2 O sistema deve emitir mensagem de erro caso exista algum dado faltante ou incorreto no cadastro de fontes emissoras ou domínio e grade de modelagem;
- 4.2.4.3 O sistema deve registrar no banco de dados o código, arquivo (INP), arquivo (OUT), arquivo (ROU) e arquivo (SOU);
- 4.2.4.4 O sistema fornece opção para exportar todos os arquivos de saída gerados pelo processamento;
- 4.2.4.5 O sistema deve emitir mensagem de confirmação após exportar arquivo desejado.

4.3 Requisitos funcionais AERMET

4.3.1 Cadastro de arquivos (FSL)

- 4.3.1.1 O sistema deve permitir importação de arquivos de radiossondagem com extensão (FSL), onde os dados vão para o banco de dados caso não tenha cadastro;
- 4.3.1.2 O sistema deve emitir mensagem de erro se a extensão do arquivo selecionado para importação for diferente da extensão (FSL);
- 4.3.1.3 O sistema deve registrar o código, arquivo, descrição e status de uso ou não no sistema;

4.3.1.4 O sistema possibilita a exclusão de arquivos conforme a necessidade do usuário através de uma mensagem de confirmação ou não para exclusão;

4.3.1.5 O sistema pode exportar arquivos selecionados.

4.3.2 Cadastro de arquivos (SAM)

4.3.2.1 O sistema permite importação de arquivos meteorológicos de superfície horária com extensão (CSV) gerados pelo Instituto Nacional de Meteorologia INMET, sendo gravado no banco de dados caso não tenha cadastro;

4.3.2.2 O sistema deve emitir mensagem de erro se a extensão do arquivo selecionado para importação for diferente da extensão (CSV);

4.3.2.3 O sistema deve emitir mensagem de erro na conversão para extensão (SAM) caso exista dados incorretos ou faltantes;

4.3.2.4 O sistema deve registrar o código, arquivo, descrição e status de uso ou não no sistema;

4.3.2.5 O sistema possibilita a exclusão de arquivos conforme a necessidade do usuário;

4.3.2.6 O sistema converte arquivos (CSV) para (SAM) conforme parâmetros definidos no cadastro pelo usuário;

4.3.2.7 O sistema pode exportar arquivos (SAM) selecionados.

4.3.3 Cadastro de definições

4.3.3.1 O sistema deve registrar o código, local, estado, período inicial, período final, coordenadas X e Y, arquivo (INP) 1, arquivo (INP) 2, arquivo (INP) 3, arquivo (PFL), arquivo (SFC) e status de uso ou não no sistema;

4.3.3.2 O sistema deve registrar definições das características de superfície como código, sequência, frequência, estação, setor inicial, final, albedo, bowen e rugosidade;

4.3.3.3 O sistema deve emitir mensagem de erro se existir duplicidade dos dados comparados com os gravados no banco tanto na inserção quanto alteração;

4.3.3.4 O sistema deve emitir mensagem de erro caso algum campo não seja preenchido corretamente;

- 4.3.3.5 O sistema deve permitir alteração de registros cadastrados caso sejam necessários;
- 4.3.3.6 O sistema pode excluir o registro selecionado através da consulta existente no cadastro e não esteja vinculada com outra tabela no sistema através de uma mensagem de confirmação ou não para exclusão;
- 4.3.3.7 O sistema pode realizar consultas para efetuar possíveis alterações.

4.3.4 Execução

- 4.3.4.1 O sistema deve executar o pré-processador AERMET gerando arquivos de saída como AERMET_1.INP, AERMET_2.INP, AERMET_3.INP, AERMET.PFL e AERMET.SFC;
- 4.3.4.2 O sistema deve emitir mensagem de erro na execução, caso exista algum dado faltante ou incorreto no cadastro de definições ou nos arquivos de entrada como de rádio sondagem ou meteorológico;
- 4.3.4.3 O sistema fornece opção para exportar todos os arquivos de saída gerados pelo processamento;
- 4.3.4.4 O sistema deve emitir mensagem de confirmação após exportar arquivo desejado.

4.4 Requisitos funcionais AERMOD

4.4.1 Cadastro de definições

- 4.4.1.1 O sistema deve registrar médias temporais através do código, média horária, média do período, poluente, unidade de medição, retângulo e valor máximo.
- 4.4.1.2 O sistema deve registrar parâmetros de saídas como código, sequência, tipo de saída, média horária, média do período, padrão da qualidade do ar, critério do receptor, valor máximo, descrição e arquivo;
- 4.4.1.3 O sistema deve emitir mensagem de erro se existir duplicidade dos dados comparados com os gravados no banco tanto na inserção quanto alteração;
- 4.4.1.4 O sistema deve emitir mensagem de erro caso algum campo obrigatório esteja nulo/vazio ou não esteja preenchido corretamente;

- 4.4.1.5 O sistema pode alterar os dados de médias temporais ou parâmetros de saídas caso estejam cadastrados;
- 4.4.1.6 O sistema pode excluir o registro selecionado através da consulta existente no cadastro através de uma mensagem de confirmação ou não para exclusão;
- 4.4.1.7 O sistema pode realizar consultas para efetuar possíveis alterações ou definição do poluente para simulações.

4.4.2 Cadastro de parâmetros

- 4.4.2.1 O sistema deve registrar parâmetros das fontes emissoras do tipo ponto através do código da fonte, taxa de emissão, altura da chaminé, temperatura de saída, velocidade de saída e diâmetro da chaminé;
- 4.4.2.2 O sistema deve registrar parâmetros das fontes emissoras do tipo área através do código da fonte, taxa de emissão, altura de lançamento, coordenadas X e Y, ângulo e dimensão vertical;
- 4.4.2.3 O sistema deve registrar parâmetros das fontes emissoras do tipo área polígono através do código da fonte, taxa de emissão, altura de lançamento, número de vértices, dimensão vertical e sequência de coordenadas X e Y do polígono;
- 4.4.2.4 O sistema deve registrar parâmetros das fontes emissoras do tipo área círculo através do código da fonte, taxa de emissão, altura de lançamento, raio, número de vértices e dimensão vertical;
- 4.4.2.5 O sistema deve emitir mensagem de erro caso algum campo obrigatório esteja nulo/vazio ou preenchido incorretamente;
- 4.4.2.6 O sistema pode alterar os parâmetros da fonte emissora selecionada caso seja necessário.

4.4.3 Execução

- 4.4.3.1 O sistema deve executar o processador principal AERMOD gerando arquivos de saída como AERMOD.INP, AERMOD.OUT, ERRORS.OUT e AERMOD.PLT;

4.4.3.2 O sistema deve emitir mensagem de erro na execução, caso exista algum dado faltante ou incorreto no cadastro de definições ou parâmetros do AERMOD ou nos processos AERMAP ou AERMET;

4.3.4.3 O sistema fornece opção para exportar todos os arquivos de saída gerados pelo processamento;

4.3.4.4 O sistema deve emitir mensagem de confirmação após exportar arquivo desejado.

4.5 Requisitos funcionais do mapa

4.5.1 Mapa AERMAP

4.5.1.1 O sistema deve emitir mensagem de erro caso exista algum dado faltante ou incorreto nos processos AERMAP ou AERMET para visualizar o mapa da área de estudo, domínio, grade de modelagem e fontes emissoras.

4.5.2 Mapa AERMOD

4.5.2.1 O sistema deve emitir mensagem de erro caso exista algum dado faltante ou incorreto nos processos AERMAP, AERMET ou AERMOD para visualizar o mapa da área de estudo, fontes emissoras e os pontos com as concentrações médias do poluente de cada coordenada definida pelo arquivo especificado.

4.6 Requisitos funcionais da cópia de segurança

4.6.1 Efetuar cópia

4.6.1.1 O sistema deve emitir mensagem de erro caso o diretório informado não exista ou aconteça algum erro no processo de criação da cópia de segurança da base de dados do sistema.

4.6.2 Restaurar cópia

4.6.2.1 O sistema deve emitir mensagem de erro caso o arquivo selecionado seja incompatível com a estrutura do banco de dados do sistema ou aconteça algum erro no processo de restauração da base de dados.

4.7 Requisitos de Qualidade

4.7.1 Confiabilidade

4.7.1.1 O sistema deve fornecer facilidades para a realização de backup e restauração dos arquivos do sistema.

4.7.2 Eficiência

4.7.2.1 No processo AERMET, o sistema converte o arquivo meteorológico em (CSV) para (SAM) com facilidade e agilidade para aumentar a produtividade dos pesquisadores ou profissionais da área ambiental, sendo que se ganha tempo nos processos de modelagem do sistema AERMOD;

4.7.2.2 O sistema permite executar os processadores AERMAP, AERMET e AERMOD de forma eficaz, automatizando a geração dos arquivos de entrada do sistema de modelagem contribuindo assim com arquivos precisos.

4.7.3 Portabilidade

4.7.3.1 O sistema deve rodar em computadores com processador Pentium dual core ou superior, memória RAM mínima de 4 GB, hard disk com 250 GB e roda na plataforma Windows 7 ou superior.

4.7.4 Usabilidade

4.7.4.1 O sistema permite uma fácil usabilidade com seus dados não tendo complexidade nos procedimentos dos dados permitindo uma fácil interação com o sistema.

5. LISTA DE EVENTOS

A lista de Eventos tem como objetivo, mostrar todos os eventos que o sistema possui, sua descrição, caso de uso que é gerado e a mensagem de retorno quando o caso de uso for executado.

5.1 Lista de Eventos do Sistema

Nº	Descrição do Evento	Evento	Nome do Evento	MSG
01	Usuário solicita arquivo TIF	Dados TIF	Manutenir TIF	MSG 01
02	Usuário solicita fonte emissora	Dados Fonte Emissora	Manutenir Fonte Emissora	MSG 02
03	Usuário solicita domínio/Grade	Dados Domínio/Grade	Manutenir Domínio/Grade	MSG 03
04	Usuário solicita executar AERMAP	Dados AERMAP	Executar AERMAP	MSG 04
05	Usuário solicita arquivo FSL	Dados FSL	Manutenir FSL	MSG 05
06	Usuário solicita arquivo SAM	Dados SAM	Manutenir SAM	MSG 06
07	Usuário solicita características	Dados Características	Manutenir Características	MSG 07
08	Usuário solicita executar AERMET	Dados AERMET	Executar AERMET	MSG 08
09	Usuário solicita cadastro saídas	Dados Saídas	Manutenir Saídas	MSG 09
10	Usuário solicita alterar parâmetros	Dados Parâmetros	Manutenir Parâmetros	MSG 10
11	Usuário solicita executar AERMOD	Dados AERMOD	Executar AERMOD	MSG 11
12	Usuário solicita coordenadas	Dados Coordenadas	Manutenir Coordenadas	MSG 12

6. LISTA DE MENSAGENS

A lista de Mensagens tem a finalidade de apresentar a forma de interação do sistema com o usuário. Ela identifica todas as respostas que o sistema deve emitir como resposta ao usuário.

6.1 Lista de Mensagens do Sistema

Nº da Mensagem	Descrição
MSG 01	Arquivo baixado / Essa descrição já existe na base de dados / Esse arquivo já existe na base de dados / Deseja excluir os registros selecionados.
MSG 02	Campo não pode ser (nulo, vazio, zero) / Fonte emissora já cadastrada / Deseja excluir os registros selecionados / Erro ao tentar inserir/atualizar registro no banco.
MSG 03	Campo não pode ser (nulo, vazio, zero) / Domínio de modelagem já cadastrado / Deseja excluir os registros selecionados / Gravado com sucesso / Erro ao tentar inserir/atualizar registro no banco.
MSG 04	Arquivo TIF não encontrado para o procedimento. Selecione o arquivo na opção <Ctrl T> / Grade e Domínio de modelagem inexistente para o procedimento. Realize o cadastro do mesmo na opção <Ctrl D> / Arquivo baixado com sucesso / Diretório AERMAP não encontrado dentro do sistema / Processo interrompido antes da conclusão.
MSG 05	Arquivo baixado / Essa descrição já existe na base de dados / Esse arquivo já existe na base de dados / Deseja excluir os registros selecionados.
MSG 06	Arquivo baixado / Essa descrição já existe na base de dados / Esse arquivo já existe na base de dados / Deseja excluir os registros selecionados / Selecione .csv ou .xls ou .xlsx apenas / Arquivo não gravado no banco / Arquivo baixado com sucesso / Erro ao tentar baixar o arquivo / Não existem dados para conversão / Arquivo incompatível para

	conversão / Valor não encontrado para o campo / Erro ao tentar gravar arquivo no banco / Arquivo gravado com sucesso.
MSG 07	Campo não pode ser (nulo, vazio, zero) / Registro já cadastrado / Informe pelo menos uma característica para a definição atual / Gravado com sucesso / Erro ao tentar inserir/atualizar registro no banco / Deseja excluir os registros selecionados / Setor não pode ser maior que 360 graus.
MSG 08	Arquivo FSL não encontrado para o procedimento. Selecione o arquivo na opção <Ctrl F> / Arquivo SAM não encontrado para o procedimento. Selecione o arquivo na opção <Ctrl S> / Definição das características de superfície inexistente para o procedimento. Realize o cadastro do mesmo na opção <Ctrl D> / Gravado com sucesso / Arquivo baixado com sucesso / Diretório AERMET não encontrado dentro do sistema / Processo interrompido antes da conclusão / Erro ao gerar os arquivos de saída (AERMET.PFL / AERMET.SFC).
MSG 09	Deseja excluir os registros selecionados / Valores do retângulo não podem ser nulos ou maiores que 999 / Campo não pode ser (nulo, vazio, zero) / Valor máximo não pode ser maior que 400 / Registro já cadastrado / Informe pelo menos uma saída para a definição atual / Média horária padrão é diferente da média do arquivo de saída / Média do período padrão é diferente da média do arquivo de saída / Gravado com sucesso / Erro ao tentar inserir/atualizar registro no banco / Limite máximo de valores é 999 / A média do período deve ser (Mensal) para intervalo de modelagem maior que um mês / O número máximo de valores que podem ser armazenados não pode ser maior que o valor máximo definido nos dados básicos / Definições AERMET não definidas. Realize a configuração

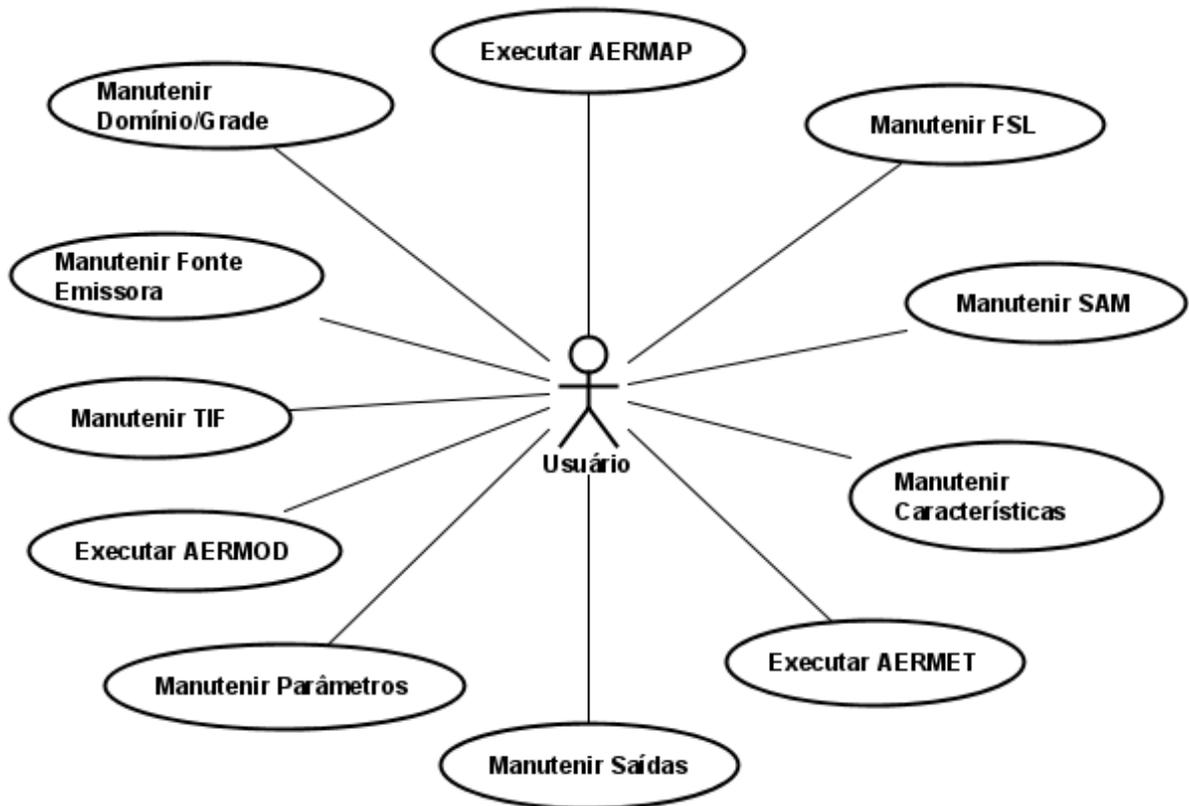
	<p>para prosseguir / A média temporal deve ser horária para intervalo de modelagem menor ou igual a um mês / A média do período não pode ser (Anual) para intervalo de modelagem menor que um ano / Já existe saída com as informações fornecidas.</p>
MSG 10	<p>Informe a taxa de emissão / Informe a altura da chaminé / Informe a velocidade de saída dos gases da chaminé / Informe o diâmetro da chaminé / Informe a altura de lançamento acima do solo em metros / Informe o comprimento do lado X da área (na direção leste-oeste se o ângulo for 0 graus) em metros / Informe a quantidade mínima de 3 e máxima de 20 vértices / Quantidade de coordenadas é diferente da quantidade de vértices / Primeira coordenada do polígono deve ser igual coordenada da fonte / Informe o raio da área circular em metros / Campo não pode ser (nulo, vazio, zero) .</p>
MSG 11	<p>Arquivo ROU/SOU não encontrado para o procedimento. Execute o processo AERMAP para prosseguir / Arquivo PFL/SFC não encontrado para o procedimento. Execute o processo AERMET para prosseguir / AERMET – Definições inexistentes para o procedimento. Realize o cadastro do mesmo na opção <Ctrl D> / AERMET – Arquivo FSL não encontrado para o procedimento. Selecione o arquivo na opção <Ctrl F> / AERMET – Arquivo SAM não encontrado para o procedimento. Selecione o arquivo na opção <Ctrl S> / Diretório AERMOD não encontrado dentro do sistema / AERMOD – Definições inexistentes para o procedimento. Realize o cadastro do mesmo na opção <Ctrl D> / Erro ao tentar lêr os dados de altitude / AERMAP – Fonte emissora inexistente para o procedimento. Realize o cadastro do mesmo na opção <Ctrl F> / Parâmetros das fontes do tipo PONTO não foram encontrados. Acesse a opção <Ctrl P> Parâmetros /</p>

	<p>Parâmetros das fontes do tipo ÁREA não foram encontrados. Acesse a opção <Ctrl P> Parâmetros / Parâmetros das fontes do tipo ÁREA POLÍGONO não foram encontrados. Acesse a opção <Ctrl P> Parâmetros e <F2> Coordenadas / Parâmetros das fontes do tipo ÁREA CÍRCULO não foram encontrados. Acesse a opção <Ctrl P> Parâmetros / Processo interrompido antes da conclusão / Erro ao gerar os arquivos de saída (PLT).</p>
MSG 12	<p>Deseja excluir os registros selecionados / Campo não pode ser (nulo, vazio, zero) / Coordenadas já cadastradas.</p>

7. DIAGRAMA DE CASO DE USO POR ATOR

O diagrama de Caso de Uso por ator tem como finalidade representar quais as funções esperadas do sistema, ele mostra também o relacionamento entre os atores e os casos de uso dentro do sistema. Um ator é um agente externo que interage com o sistema. Ele é representado neste projeto pela figura de um homem estilizado. Os responsáveis (atores) pela inicialização dos casos de uso identificados neste projeto são: Profissionais ou Pesquisadores definidos como Usuário.

7.1 Diagrama de Caso de Uso do Ator Usuário



8. DESCRIÇÃO DOS CASOS DE USOS

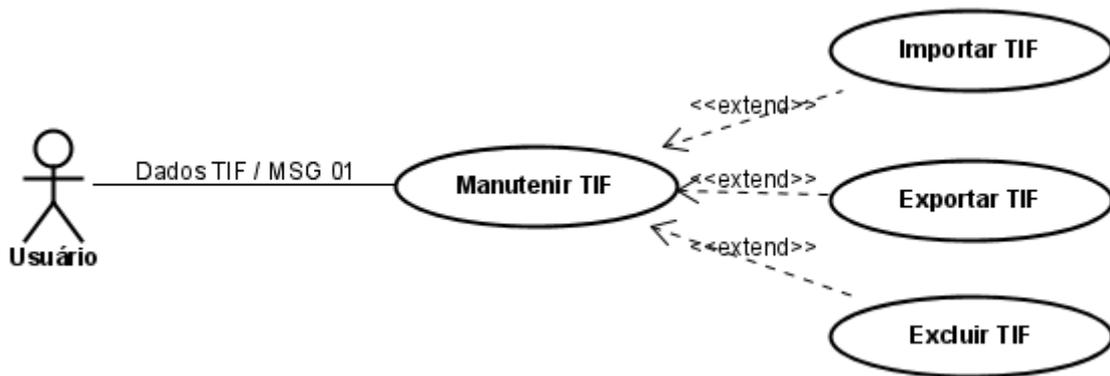
A descrição dos Casos de Usos descreve passo a passo cada caso de uso, mostrando o seu curso normal de forma a identificar os procedimentos corretos que o sistema executará. O curso alternativo demonstra as alternativas de comportamento que podem ocorrer em um caso de uso.

8.1 – Número: 01

Caso de Uso: **Manutenir TIF**

Descrição: Este Caso de Uso demonstra a inclusão de um arquivo TIF no sistema.

Ator: Usuário



Curso Normal

1. O usuário informa o arquivo TIF para importação;
2. O sistema faz a validação do arquivo;
3. O sistema inclui o arquivo.

Curso Alternativo

- 2.1. Caso a descrição do arquivo já exista na base de dados, o sistema emite mensagem (msg 01) informando que a descrição do arquivo já existe;
- 2.2. Caso o arquivo já exista na base de dados, o sistema emite mensagem (msg 01) informando que o arquivo já existe;
- 3.1. Caso o usuário escolha exportar, o sistema emite mensagem (msg 01) informando que o arquivo foi baixado;

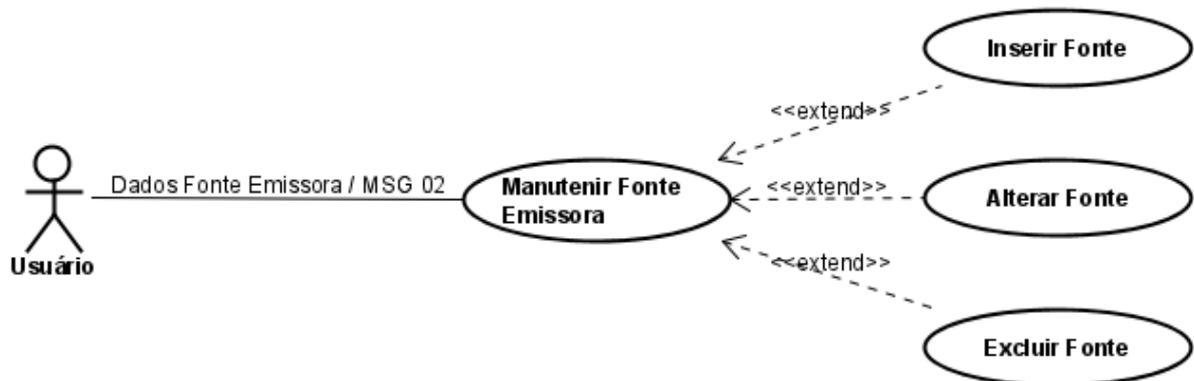
- 3.2. Caso o usuário escolha excluir, o sistema emite mensagem (msg 01) informando se deseja excluir os registros selecionados.

8.2 – Número: 02

Caso de Uso: **Manutenir Fonte Emissora**

Descrição: Esse Caso de Uso demonstra a inclusão de uma fonte emissora no sistema.

Ator: Usuário



Curso Normal

1. O usuário informa os dados da fonte emissora;
2. O sistema faz a validação dos dados;
3. O sistema inclui a fonte emissora no cadastro.

Curso Alternativo

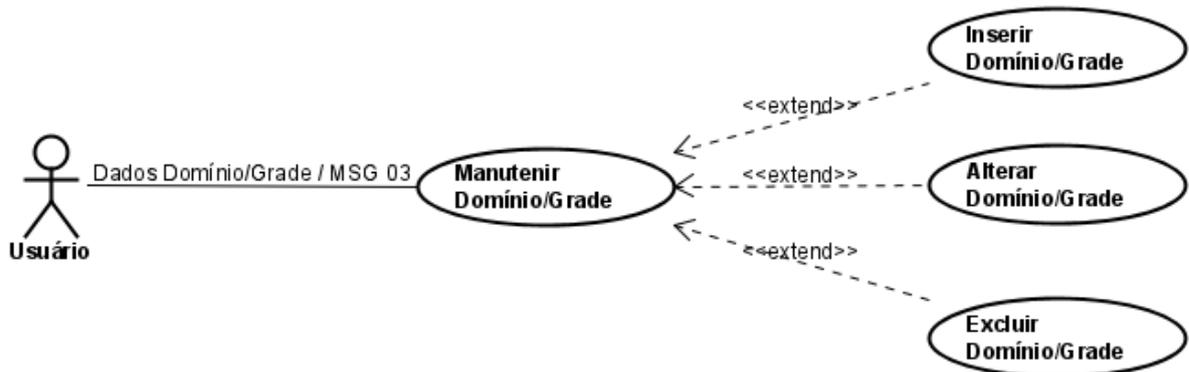
- 2.1. Caso exista algum campo nulo ou vazio, o sistema emite mensagem (msg 02) solicitando o preenchimento do campo;
- 2.2. Caso os dados da fonte emissora já existem na base de dados, o sistema emite mensagem (msg 02) informando que a fonte emissora já está cadastrada;
- 3.1. O sistema emite mensagem (msg 02) informando que existe erro ao tentar inserir/atualizar registro no banco, caso o número máximo de dígitos da chave primária tenha atingido;
- 3.2. O sistema mostra os dados da fonte emissora e permite ao usuário alterar;
- 3.3. Caso o usuário escolha excluir, o sistema emite mensagem (msg 02) informando se deseja excluir os registros selecionados.

8.3 – Número: 03

Caso de Uso: **Manutenir Domínio/Grade**

Descrição: Este Caso de Uso demonstra a inclusão de um domínio e grade de modelagem no sistema.

Ator: Usuário



Curso Normal

1. O usuário informa os dados do domínio e grade de modelagem;
2. O sistema faz a validação dos dados;
3. O sistema inclui os dados do domínio e grade de modelagem no cadastro e emite mensagem (msg 03) informando que o domínio e grade de modelagem foram gravados com sucesso.

Curso Alternativo

- 2.1. Caso exista algum campo nulo ou vazio, o sistema emite mensagem (msg 03) solicitando o preenchimento do campo;
- 2.2. Caso exista algum campo com valor inválido, o sistema emite mensagem (msg 03) informando que o campo possui valor inválido;
- 2.3. Caso os dados do domínio e grade de modelagem já existem na base de dados, o sistema emite mensagem (msg 03) informando que os dados já estão cadastrados;
- 3.1. O sistema emite mensagem (msg 03) informando que existe erro ao tentar inserir/atualizar registro no banco, caso tenha atingido o número máximo de dígitos da chave primária;

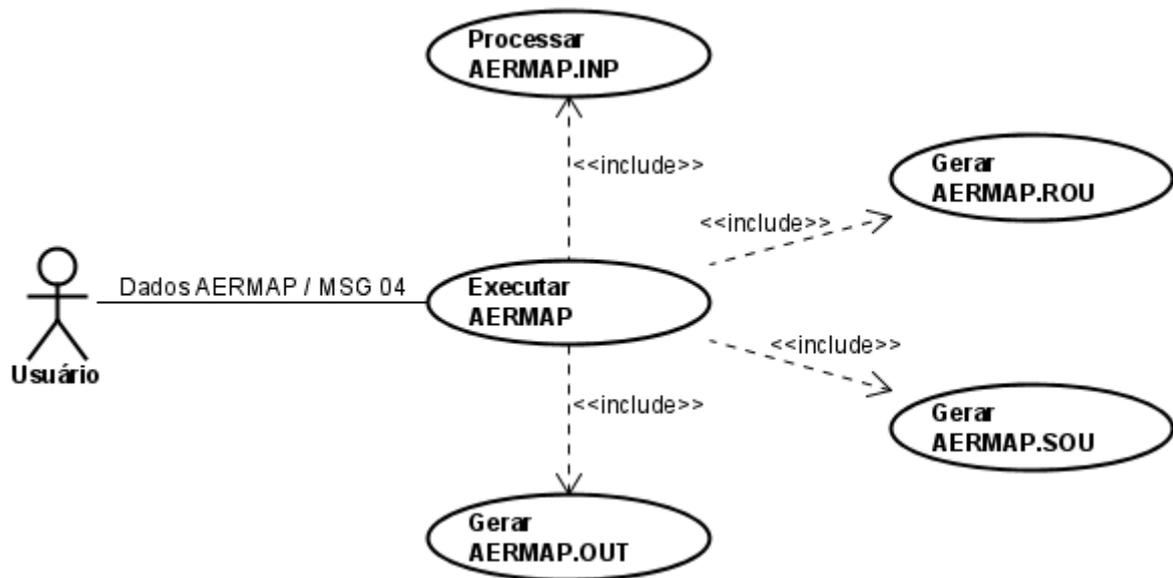
- 3.2. O sistema mostra os dados do domínio e grade de modelagem e permite ao usuário alterar;
- 3.3. Caso o usuário escolha excluir, o sistema emite mensagem (msg 03) informando se deseja excluir os registros selecionados.

8.4 – Número: 04

Caso de Uso: Executar AERMAP

Descrição: Este Caso de Uso demonstra a execução do pré-processador AERMAP.

Ator: Usuário



Curso Normal

1. O usuário executa o pré-processador AERMAP;
2. O sistema faz a validação dos dados;
3. O sistema gera os arquivos: AERMAP.INP, AERMAP.OUT, AERMAP.ROU, AERMAP.SOU e grava na base de dados.

Curso Alternativo

- 2.1. Caso o arquivo TIF não exista, o sistema emite mensagem (msg 04) informando que o arquivo não foi encontrado para o procedimento;
- 2.2. Caso não exista domínio e grade de modelagem, o sistema emite mensagem (msg 04) informando a inexistência do registro para o procedimento;
- 2.3. Caso não exista o diretório AERMAP dentro do sistema, o mesmo emite mensagem (msg 04) informando que o diretório não existe dentro do sistema;

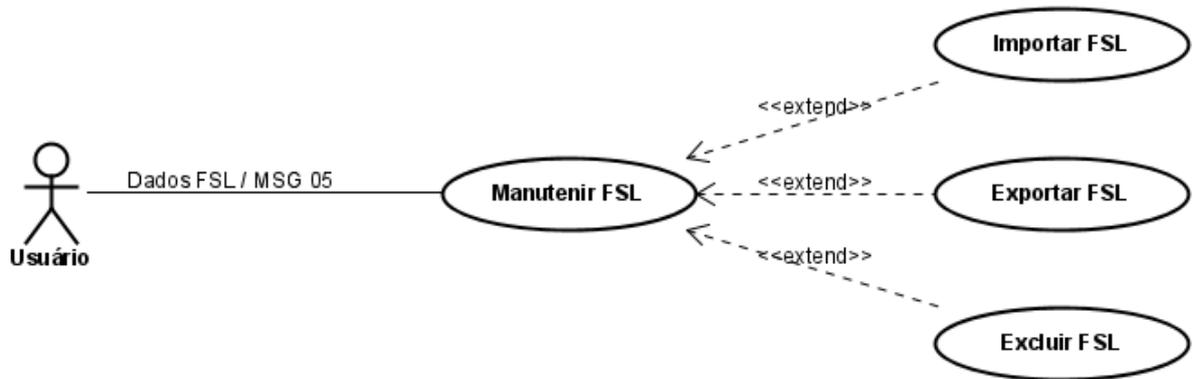
- 3.1. Caso exista uma falha inesperada durante o processamento, o sistema emite mensagem (msg 04) informando que o processo foi interrompido antes da conclusão;
- 3.2. Caso o usuário escolha exportar um arquivo, o arquivo é exportado e o sistema emite mensagem (msg 04) informando que o arquivo foi baixado com sucesso.

8.5 – Número: 05

Caso de Uso: **Manutenir FSL**

Descrição: Este Caso de Uso demonstra a inclusão de um arquivo FSL no sistema.

Ator: Usuário



Curso Normal

1. O usuário informa o arquivo FSL para importação;
2. O sistema faz a validação do arquivo;
3. O sistema inclui o arquivo.

Curso Alternativo

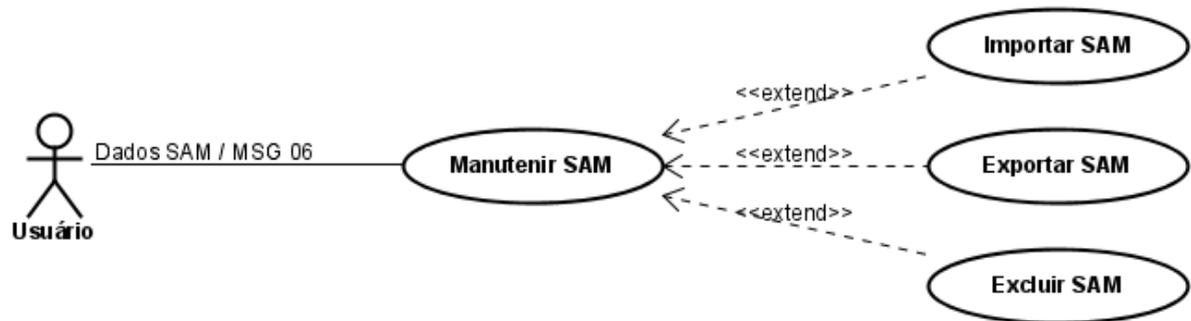
- 2.1. Caso a descrição do arquivo já exista na base de dados, o sistema emite mensagem (msg 05) informando que a descrição do arquivo já existe;
- 2.2. Caso o arquivo já exista na base de dados, o sistema emite mensagem (msg 05) informando que o arquivo já existe;
- 3.1. Caso o usuário escolha exportar, o sistema emite mensagem (msg 05) informando que o arquivo foi baixado;
- 3.2. Caso o usuário escolha excluir, o sistema emite mensagem (msg 05) informando se deseja excluir os registros selecionados.

8.6 – Número: 06

Caso de Uso: **Manutenir SAM**

Descrição: Este Caso de Uso demonstra a inclusão de um arquivo SAM no sistema.

Ator: Usuário



Curso Normal

1. O usuário informa o arquivo CSV para importação;
2. O sistema faz a validação do arquivo;
3. O sistema faz a conversão para arquivo SAM;
4. O sistema inclui o arquivo e emite mensagem (msg 06) informando que o arquivo foi gravado com sucesso.

Curso Alternativo

- 2.1. Caso a descrição do arquivo já exista na base de dados, o sistema emite mensagem (msg 06) informando que a descrição do arquivo já existe;
- 2.2. Caso o arquivo já exista na base de dados, o sistema emite mensagem (msg 06) informando que o arquivo já existe;
- 3.1. Caso não exista arquivo selecionado para conversão, o sistema emite mensagem (msg 06) informando que não existem dados para conversão;
- 3.2. Caso o arquivo para conversão seja incompatível, o sistema emite mensagem (msg 06) informando que o arquivo é incompatível para conversão;
- 3.3. Caso exista algum dado faltando no arquivo para conversão, o sistema emite mensagem (msg 06) informando a inexistência de valor para o campo determinado;

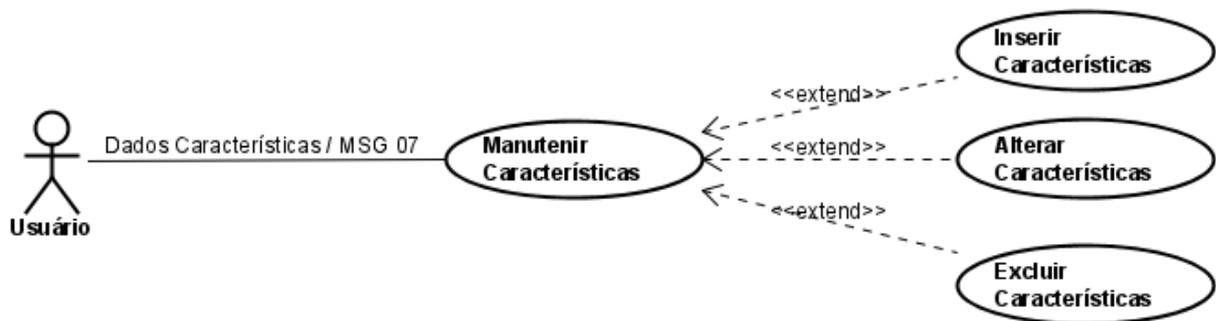
- 4.1. Caso o usuário escolha exportar, o sistema emite mensagem (msg 06) informando que o arquivo foi baixado;
- 4.2. Caso o usuário escolha excluir, o sistema emite mensagem (msg 06) informando se deseja excluir os registros selecionados.

8.7 – Número: 07

Caso de Uso: **Manutenir Características**

Descrição: Este Caso de Uso demonstra a inclusão de uma definição das características de superfície no sistema.

Ator: Usuário



Curso Normal

1. O usuário informa os dados de definição das características de superfície;
2. O sistema faz a validação dos dados;
3. O sistema inclui os dados de definição das características de superfície no cadastro e emite mensagem (msg 07) informando que os dados foram gravados com sucesso.

Curso Alternativo

- 2.1. Caso exista algum campo nulo ou vazio, o sistema emite mensagem (msg 07) solicitando o preenchimento do campo;
- 2.2. Caso o valor do setor seja maior que 360 graus, o sistema emite mensagem (msg 07) informando que o setor não pode ser maior que 360 graus;
- 2.3. Caso os dados de definição das características de superfície já existem na base de dados, o sistema emite mensagem (msg 07) informando que os dados já estão cadastrados;
- 2.4. O sistema emite mensagem (msg 07) caso não tenha pelo menos uma característica no cadastro de definições;
- 3.1. O sistema emite mensagem (msg 07) informando que existe erro ao tentar inserir/atualizar registro no banco, caso tenha atingido o número máximo de dígitos da chave primária;

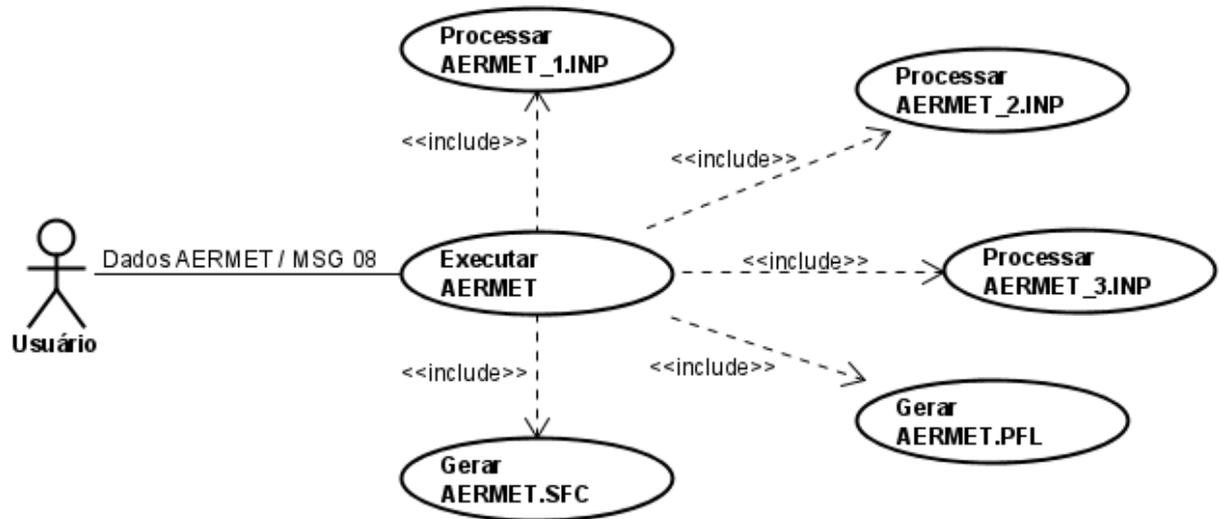
- 3.2. O sistema mostra os dados de definição das características de superfície e permite ao usuário alterar;
- 3.3. Caso o usuário escolha excluir, o sistema emite mensagem (msg 07) informando se deseja excluir os registros selecionados.

8.8 – Número: 08

Caso de Uso: Executar AERMET

Descrição: Este Caso de Uso demonstra a execução do pré-processador AERMET.

Ator: Usuário



Curso Normal

1. O usuário executa o pré-processador AERMET;
2. O sistema faz a validação dos dados;
3. O sistema gera os arquivos AERMET_1.INP, AERMET_2.INP, AERMET_3.INP, AERMET.PFL, AERMET.SFC, grava na base de dados e emite mensagem (msg 08) informando que os dados foram gravados com sucesso.

Curso Alternativo

- 2.1. Caso o arquivo FSL não exista, o sistema emite mensagem (msg 08) informando que o arquivo não foi encontrado para o procedimento;
- 2.2. Caso o arquivo SAM não exista, o sistema emite mensagem (msg 08) informando que o arquivo não foi encontrado para o procedimento;
- 2.3. Caso não exista definição das características de superfície, o sistema emite mensagem (msg 08) informando a inexistência do registro para o procedimento;

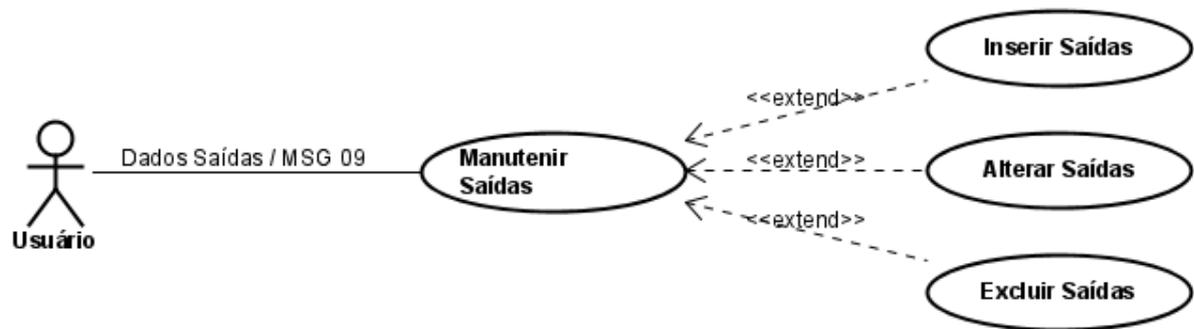
- 2.4. Caso não exista o diretório AERMET dentro do sistema, o mesmo emite mensagem (msg 08) informando que o diretório não existe dentro do sistema;
- 3.1. Caso exista uma falha inesperada durante o processamento, o sistema emite mensagem (msg 08) informando que o processo foi interrompido antes da conclusão;
- 3.2. Caso exista dados inválidos no processamento, o sistema emite mensagem (msg 08) informando a existência de erro ao gerar os arquivos de saída;
- 3.3. Caso o usuário escolha exportar um arquivo, o arquivo é exportado e o sistema emite mensagem (msg 08) informando que o arquivo foi baixado com sucesso.

8.9 – Número: 09

Caso de Uso: **Manutenir Saídas**

Descrição: Este Caso de Uso demonstra a inclusão de uma definição dos arquivos de saída no sistema.

Ator: Usuário



Curso Normal

1. O usuário informa os dados de saída;
2. O sistema faz a validação dos dados;
3. O sistema inclui as saídas no cadastro e emite mensagem (msg 09) informando que a saída foi gravada com sucesso.

Curso Alternativo

- 2.1. Caso exista algum campo nulo ou vazio, o sistema emite mensagem (msg 09) solicitando o preenchimento do campo;
- 2.2. Caso os dados de saída já existem na base de dados, o sistema emite mensagem (msg 09) informando que a saída já está cadastrada;
- 2.3. Caso os valores do retângulo estejam inválidos, o sistema emite mensagem (msg 09) informando que os valores não podem ser nulos ou maiores que 999;
- 2.4. Caso o valor máximo esteja incorreto, o sistema emite mensagem (msg 09) informando que o valor máximo não pode ser maior que 400;
- 2.5. O sistema emite mensagem (msg 09) caso não tenha pelo menos uma saída no cadastro de definições;

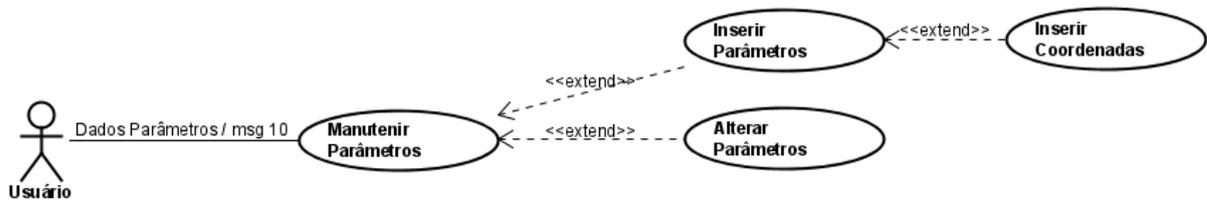
- 2.6. Caso a média horária padrão esteja incorreta, o sistema emite mensagem (msg 09) informando que a média horária padrão é diferente da média do arquivo de saída;
- 2.7. Caso a média do período padrão esteja incorreta, o sistema emite mensagem (msg 09) informando que a média do período padrão é diferente da média do arquivo de saída;
- 2.8. Caso a média do período da saída esteja incorreta, o sistema emite mensagem (msg 09) informando que a média deve ser (Mensal) para intervalo de modelagem maior que um mês;
- 2.9. Caso o valor máximo de valores de saída seja maior que o valor máximo padrão, o sistema emite mensagem (msg 09) informando que o valor máximo de valores de saída não pode ser maior que o valor máximo padrão definido nos dados básicos;
- 2.10. Caso não exista definições cadastradas no processo AERMET, o sistema emite mensagem (msg 09) informando que as definições AERMET não foram definidas e solicita que realize a configuração para prosseguir;
- 2.11. Caso a média temporal seja incompatível com o período de modelagem, o sistema emite mensagem (msg 09) informando que a média temporal deve ser horária para intervalo de modelagem menor ou igual a um mês;
- 2.12. Caso a média do período seja incompatível com o período de modelagem, o sistema emite mensagem (msg 09) informando que a média do período não pode ser (Anual) para intervalo de modelagem menor que um ano;
- 3.1. O sistema emite mensagem (msg 09) informando que existe erro ao tentar inserir/atualizar registro no banco, caso o número máximo de dígitos da chave primária tenha atingido;
- 3.2. O sistema mostra os dados de saída e permite ao usuário alterar;
- 3.3. Caso o usuário escolha excluir, o sistema emite mensagem (msg 09) informando se deseja excluir os registros selecionados.

8.10 – Número: 10

Caso de Uso: **Manutenir Parâmetros**

Descrição: Este Caso de Uso demonstra a inclusão de um parâmetro para a fonte emissora no sistema.

Ator: Usuário



Curso Normal

1. O usuário informa os dados do parâmetro da fonte emissora;
2. O sistema faz a validação dos dados do parâmetro;
3. O sistema inclui os dados no cadastro.

Curso Alternativo

- 2.1. Caso a fonte emissora seja do tipo (Área Polígono) e não exista coordenadas cadastradas, o sistema estende o Use Case para Inserir Coordenadas;
- 2.2. Caso a taxa de emissão esteja nula, zero ou vazia, o sistema emite mensagem (msg 10) solicitando que informe a taxa de emissão;
- 2.3. Caso a fonte emissora seja do tipo (Ponto) e a altura da chaminé esteja nula zero ou vazia, o sistema emite mensagem (msg 10) solicitando que informe a altura da chaminé;
- 2.4. Caso a fonte emissora seja do tipo (Ponto) e a velocidade de saída dos gases da chaminé esteja nulo, zero ou vazio, o sistema emite mensagem (msg 10) solicitando o preenchimento do campo;
- 2.5. Caso a fonte emissora seja do tipo (Ponto) e o diâmetro da chaminé esteja nulo, zero ou vazio, o sistema emite mensagem (msg 10) solicitando o preenchimento do campo;

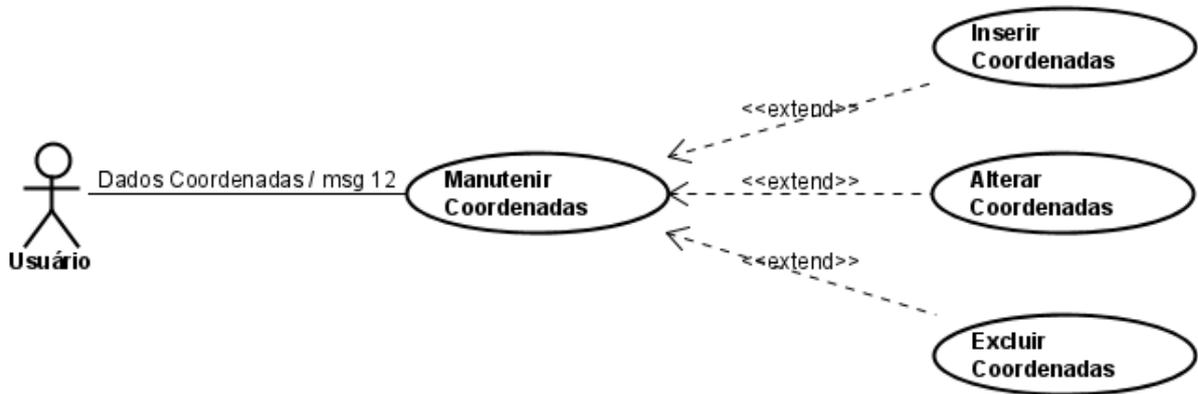
- 2.6. Caso a fonte emissora for do tipo (Área) e a altura de lançamento acima do solo esteja nulo, zero ou vazio, o sistema emite mensagem (msg 10) solicitando o preenchimento do campo;
- 2.7. Caso a fonte emissora for do tipo (Área) e o comprimento do lado X da área esteja nulo, zero ou vazio e o ângulo for zero graus, o sistema emite mensagem (msg 10) solicitando o preenchimento do campo;
- 2.8. Caso a fonte emissora for do tipo (Área Polígono) e a quantidade de vértices esteja inválido, o sistema emite mensagem (msg 10) solicitando que informe a quantidade mínima de 3 e máxima de 20 vértices;
- 2.9. Caso a fonte emissora for do tipo (Área Polígono) e a quantidade de coordenadas do cadastro de coordenadas esteja diferente da quantidade de vértices, o sistema emite mensagem (msg 10) solicitando o preenchimento correto do campo;
- 2.10. Caso a fonte emissora for do tipo (Área Polígono) e a primeira coordenada do cadastro de coordenadas for diferente da coordenada da fonte emissora, o sistema emite mensagem (msg 10) solicitando que informe a coordenada da fonte emissora em edição;
- 2.11. Caso a fonte emissora for do tipo (Área Círculo) e o raio esteja nulo, zero ou vazio, o sistema emite mensagem (msg 10) solicitando que informe o raio da área circular em metros;
- 2.12. Caso a fonte emissora for do tipo (Área Círculo) e a altura de lançamento acima do solo esteja nulo, zero ou vazio, o sistema emite mensagem (msg 10) solicitando o preenchimento do campo.

8.11 – Número: 11

Caso de Uso: **Manutenir Coordenadas**

Descrição: Este caso de uso demonstra a inclusão de coordenadas no sistema.

Ator: Usuário



Curso Normal

1. O usuário informa as coordenadas;
2. O sistema faz a validação;
3. O sistema inclui as coordenadas.

Curso Alternativo

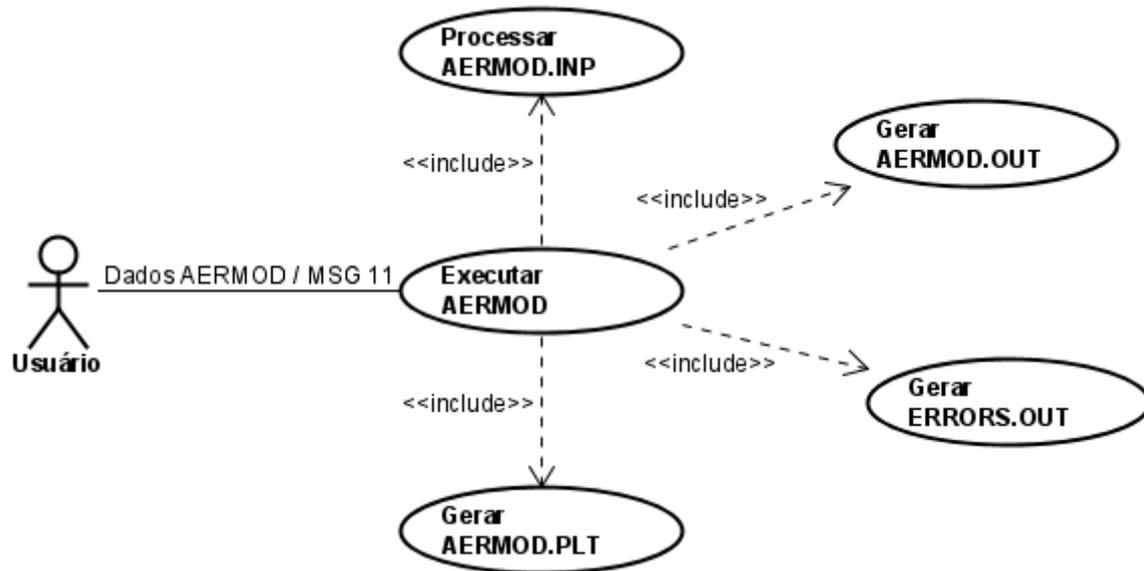
- 2.1. Caso exista algum campo nulo ou vazio, o sistema emite mensagem (msg 12) solicitando o preenchimento do campo;
- 2.2. Caso já exista coordenadas cadastradas, o sistema emite mensagem (msg 12) informando que as coordenadas já estão cadastradas;
- 3.1. O sistema mostra as coordenadas e permite ao usuário alterar;
- 3.2. Caso o usuário escolha excluir, o sistema emite mensagem (msg 12) informando se deseja excluir os registros selecionados.

8.12 – Número: 12

Caso de Uso: Executar AERMOD

Descrição: Este Caso de Uso demonstra a execução do processador principal AERMOD.

Ator: Usuário



Curso Normal

1. O usuário executa o processador principal AERMOD;
2. O sistema faz a validação dos dados;
3. O sistema gera os arquivos AERMOD.INP, AERMOD.OUT, ERRORS.OUT, AERMOD.PLT, grava na base de dados e emite mensagem (msg 11) informando que os dados foram gravados com sucesso.

Curso Alternativo

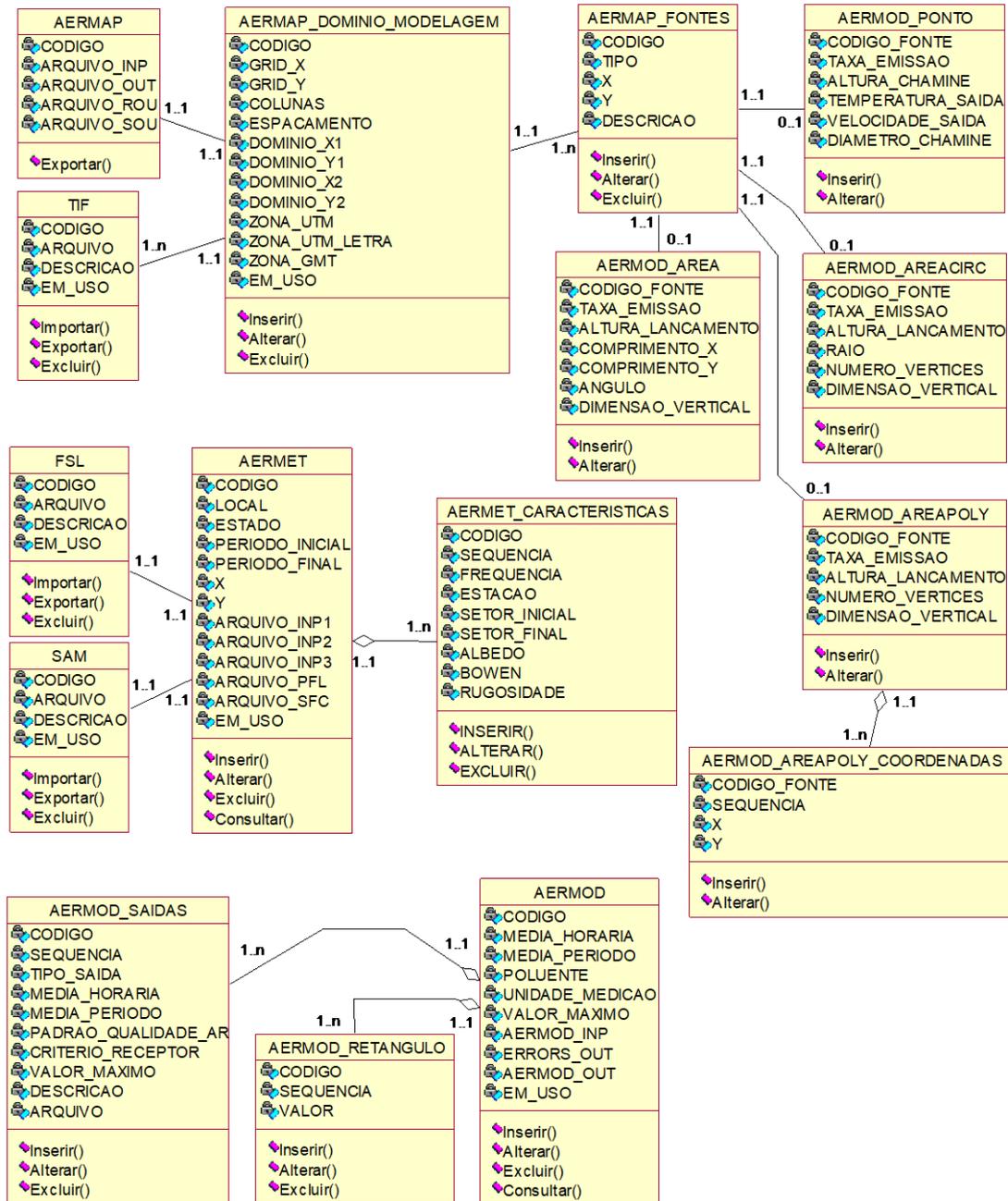
- 2.1. Caso os arquivos ROU/SOU não existem, o sistema emite mensagem (msg 11) informando que os arquivos não foram encontrados para o procedimento;
- 2.2. Caso os arquivos PFL/SFC não existem, o sistema emite mensagem (msg 10) informando que os arquivos não foram encontrados para o procedimento;

- 2.3. Caso não exista definição das características de superfície, o sistema emite mensagem (msg 10) informando a inexistência do registro para o procedimento;
- 2.4. Caso não exista o arquivo FSL, o sistema emite mensagem (msg 10) solicitando que informe o arquivo para o procedimento;
- 2.5. Caso não exista o arquivo SAM, o sistema emite mensagem (msg 10) solicitando que informe o arquivo para o procedimento;
- 2.6. Caso não exista o diretório AERMOD dentro do sistema, o mesmo emite mensagem (msg 10) informando que o diretório não existe dentro do sistema;
- 2.7. Caso não exista definições cadastradas no processo AERMOD, o sistema emite mensagem (msg 10) informando a inexistência das definições para o procedimento;
- 2.8. Caso exista dados inválidos de altitude ou fonte emissora inexistente, o sistema emite mensagem (msg 10) informando a inexistência para o procedimento;
- 2.9. Caso não exista parâmetro para fonte emissora do tipo (Ponto), o sistema emite mensagem (msg 10) informando que o parâmetro não foi encontrado;
- 2.10. Caso não exista parâmetro para fonte emissora do tipo (Área), o sistema emite mensagem (msg 10) informando que o parâmetro não foi encontrado;
- 2.11. Caso não exista parâmetro para fonte emissora do tipo (Área Polígono), o sistema emite mensagem (msg 10) informando a inexistência do parâmetro;
- 2.12. Caso não exista parâmetro para fonte emissora do tipo (Área Círculo), o sistema emite mensagem (msg 10) informando a inexistência do parâmetro;
- 3.1. Caso exista uma falha inesperada durante o processamento, o sistema emite mensagem (msg 10) informando que o processo foi interrompido antes da conclusão;
- 3.2. Caso existam dados inválidos no processamento, o sistema emite mensagem (msg 10) informando a existência de erro ao gerar os arquivos de saída.
- 3.3. Caso o usuário escolha exportar um arquivo, o arquivo é exportado e o sistema emite mensagem (msg 10) informando que o arquivo foi baixado com sucesso.

9. DIAGRAMA DE CLASSE

O diagrama de classe mostra como os objetos estão dispostos pelo sistema, os quais são utilizados para dar uma ampla visão do sistema em sua forma estática, mostrando as principais classes, seus atributos e métodos, bem como a forma em que se relacionam umas com as outras.

9.1 – Diagrama de Classes do Sistema



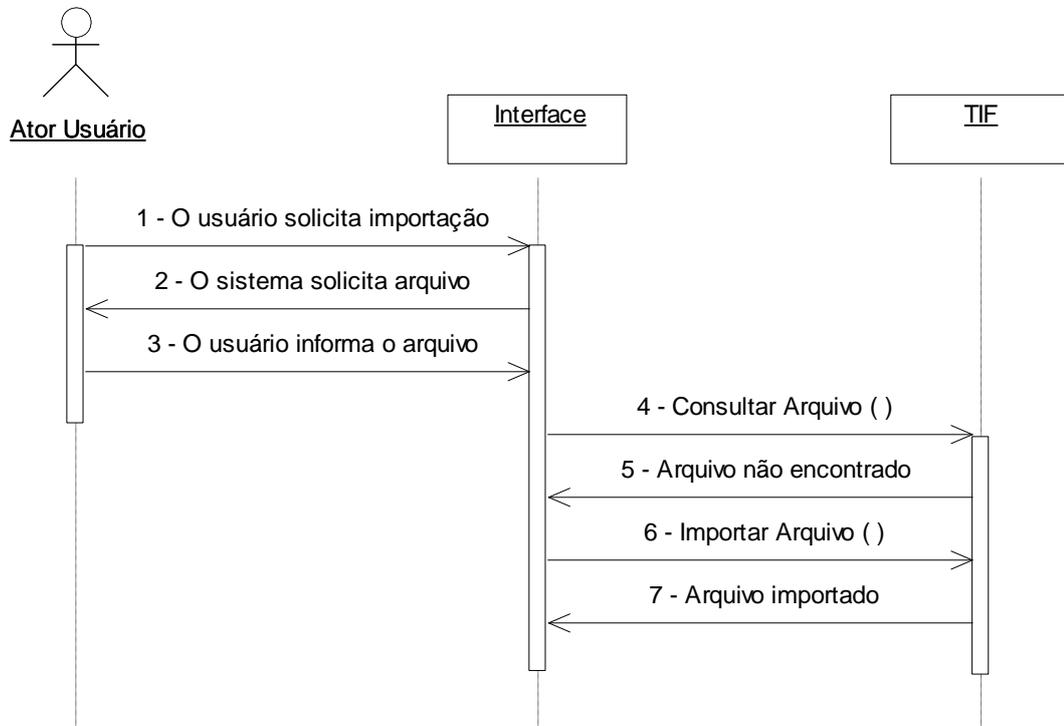
10. DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA

O diagrama de sequência deve retratar as trocas de mensagens realizadas pelo sistema para a execução das operações definidas no caso de uso e assim demonstrar o comportamento do sistema de acordo com as funcionalidades.

Neste projeto para cada caso de uso identificado foi elaborado um diagrama de sequência correspondente.

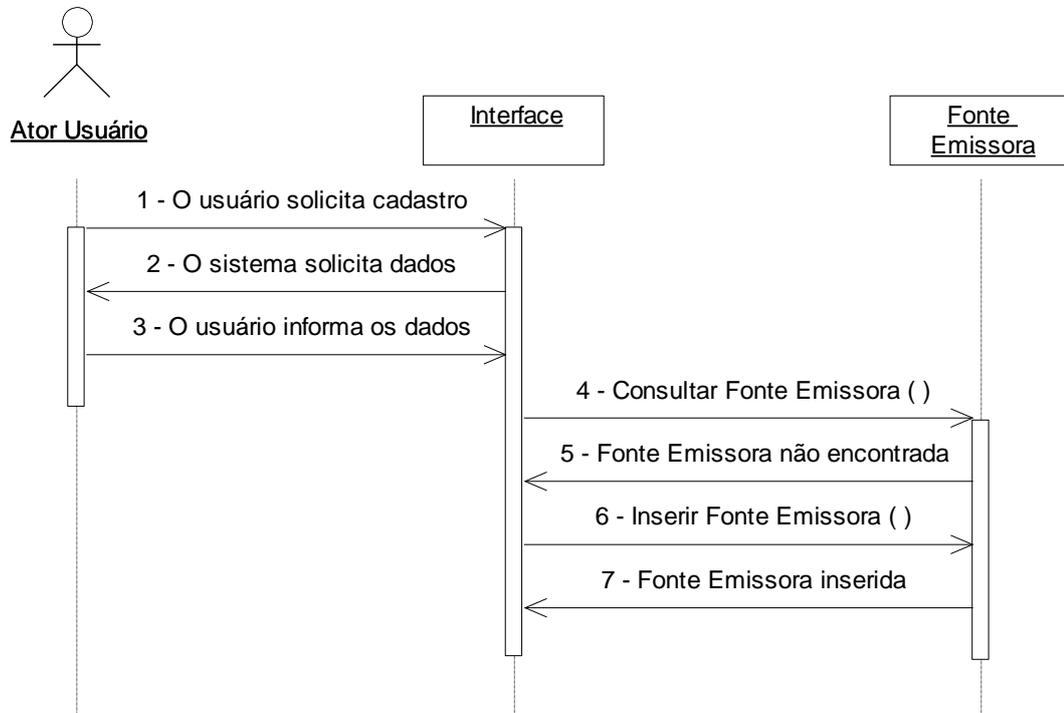
10.1 – Use Case: Manutenir TIF

Curso Normal: Inserir arquivo TIF



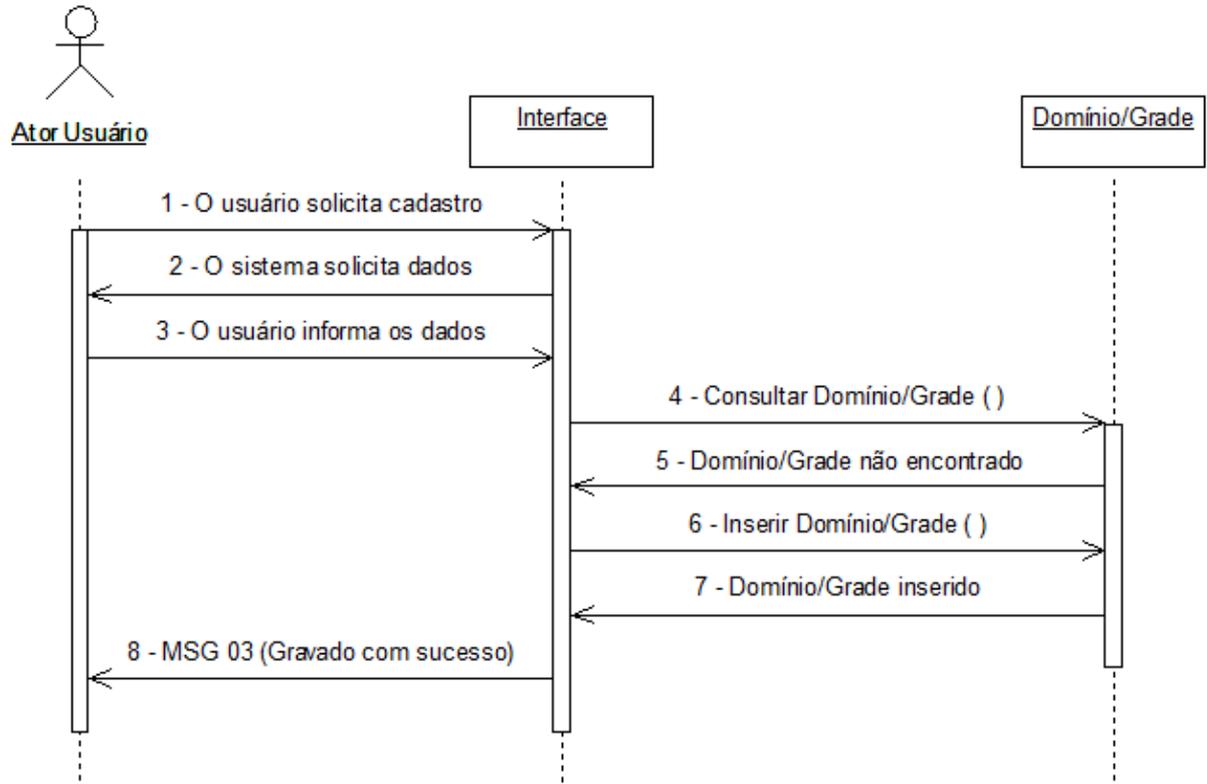
10.2 – Use Case: Manter Fonte Emissora

Curso Normal: Inserir Fonte Emissora



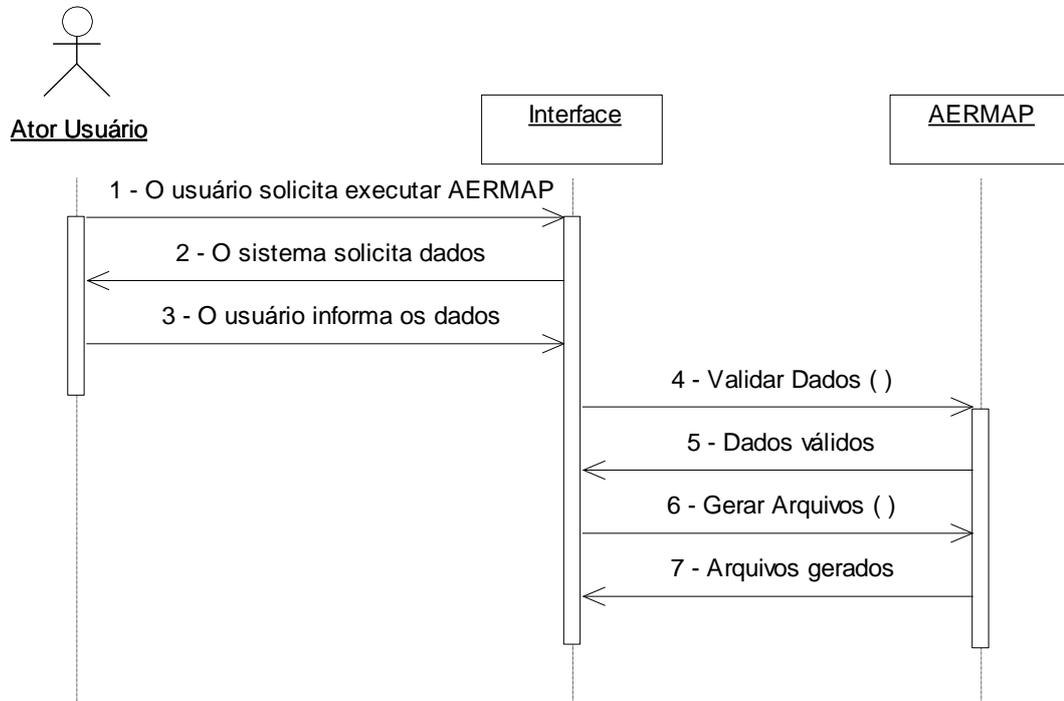
10.3 – Use Case: Manter Domínio/Grade

Curso Normal: Inserir Domínio/Grade de modelagem



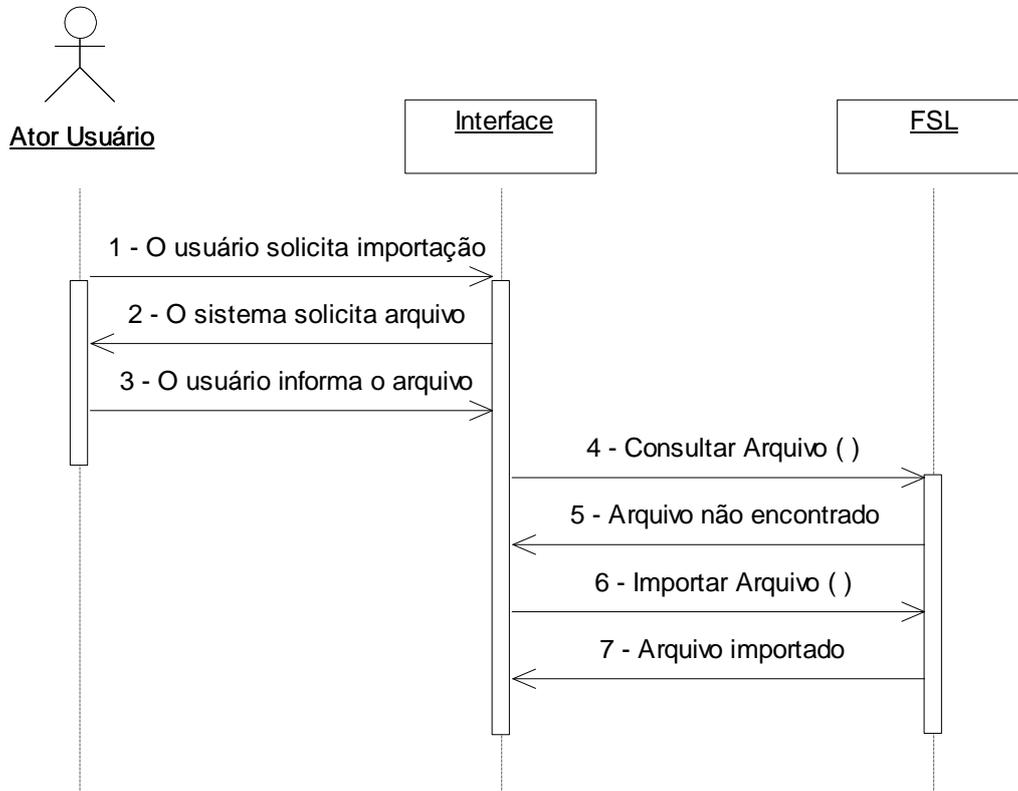
10.4 – Use Case: Executar AERMAP

Curso Normal: Executar pré-processador AERMAP



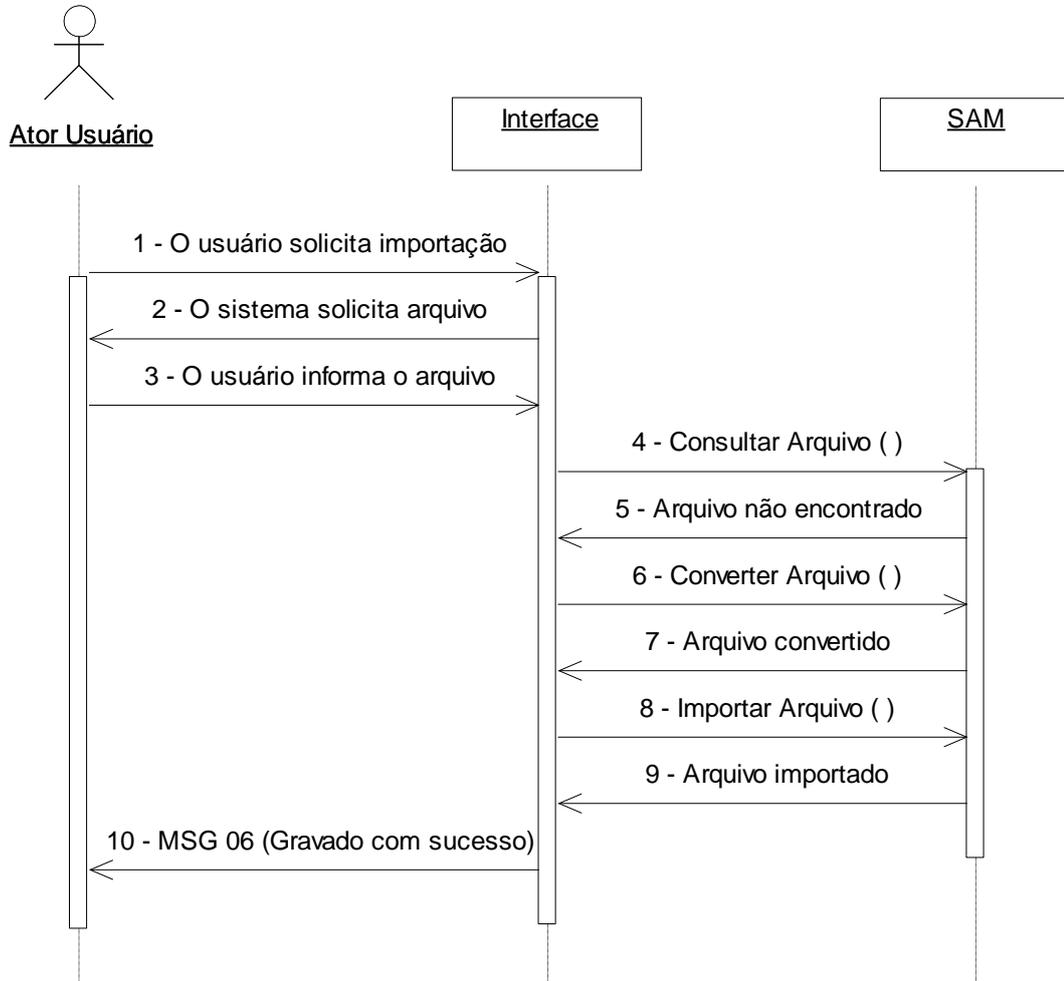
10.5 – Use Case: Manutenir FSL

Curso Normal: Inserir arquivo FSL



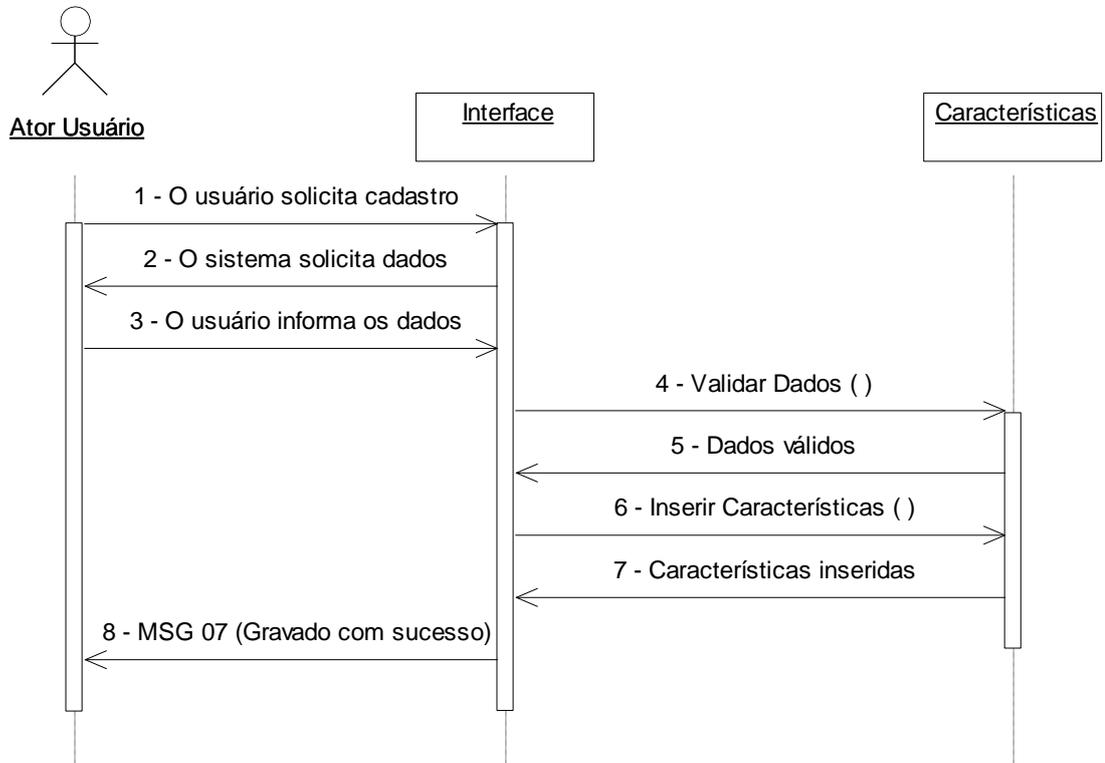
10.6 – Use Case: Manutenir SAM

Curso Normal: Inserir arquivo SAM



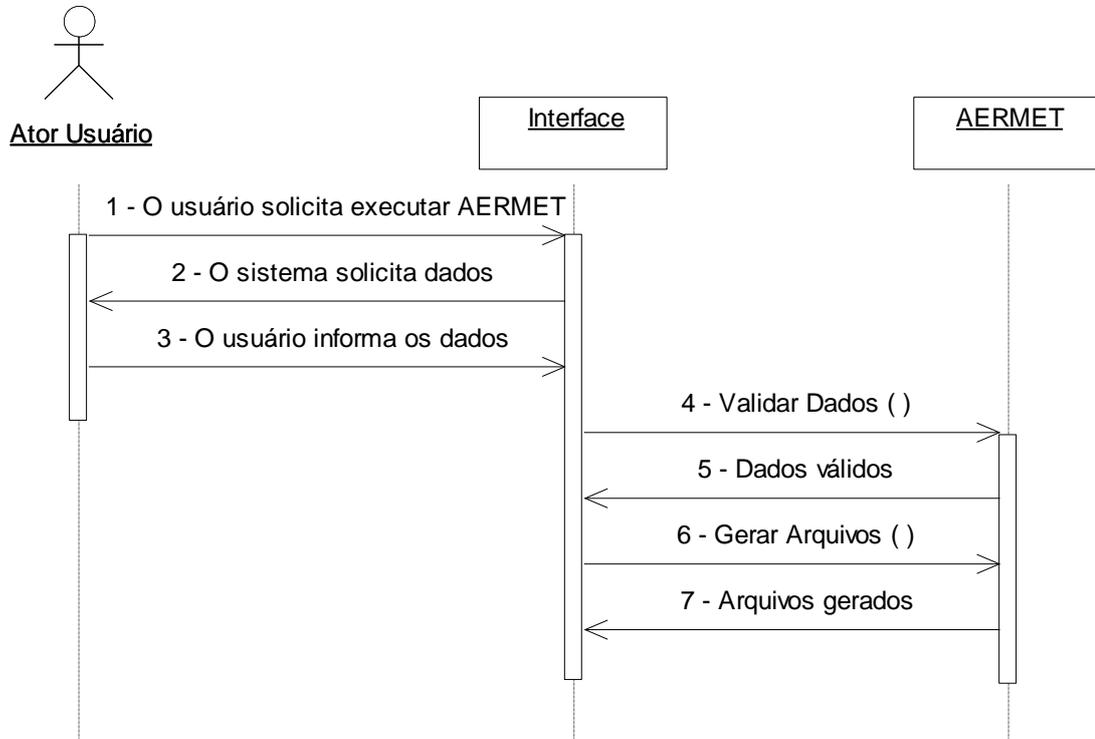
10.7 – Use Case: Manutenir Características

Curso Normal: Inserir características de superfície



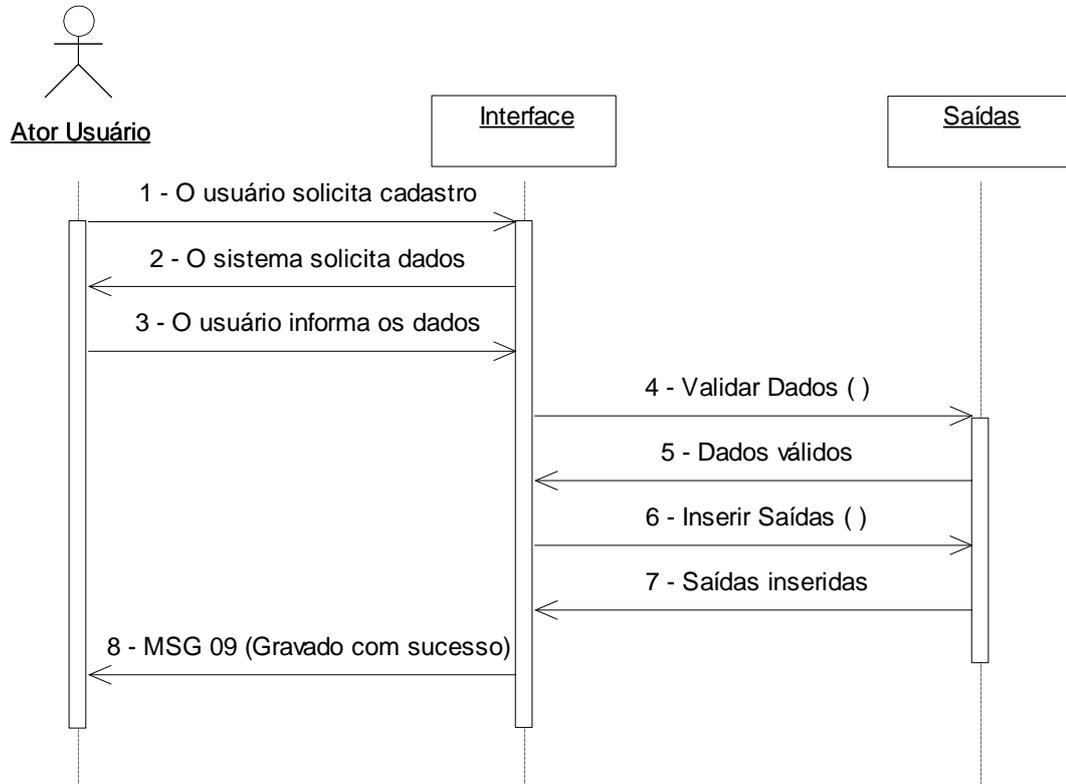
10.8 – Use Case: Executar AERMET

Curso Normal: Executar pré-processador AERMET



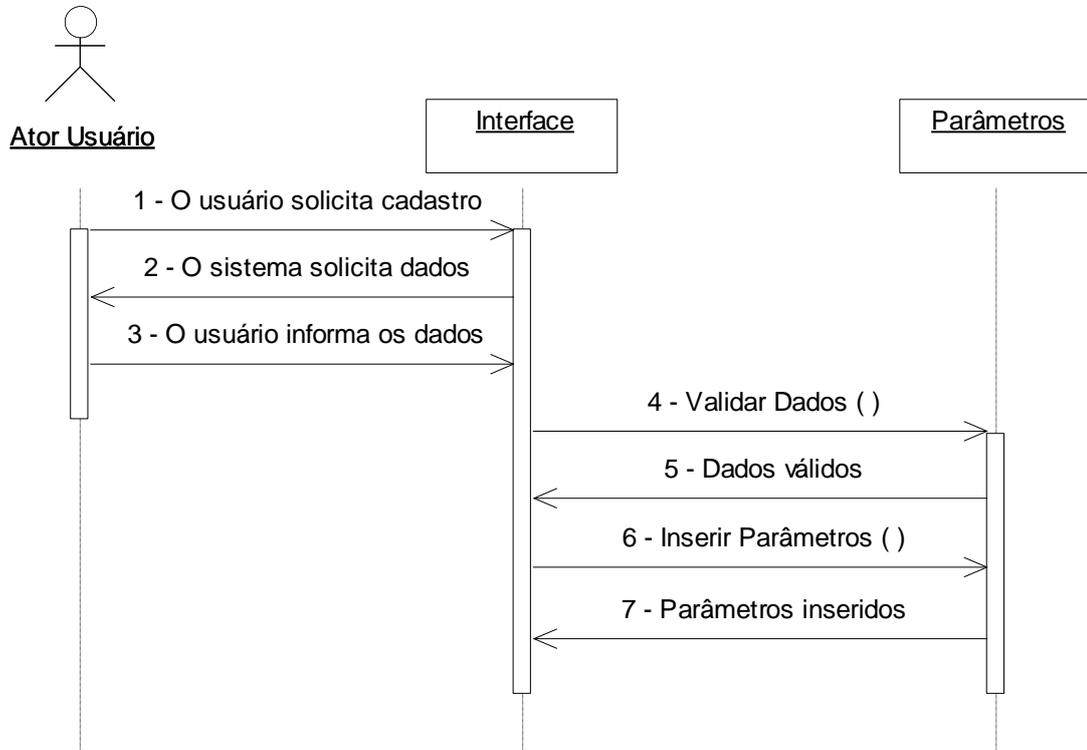
10.9 – Use Case: Manter Saídas

Curso Normal: Inserir definições de saídas



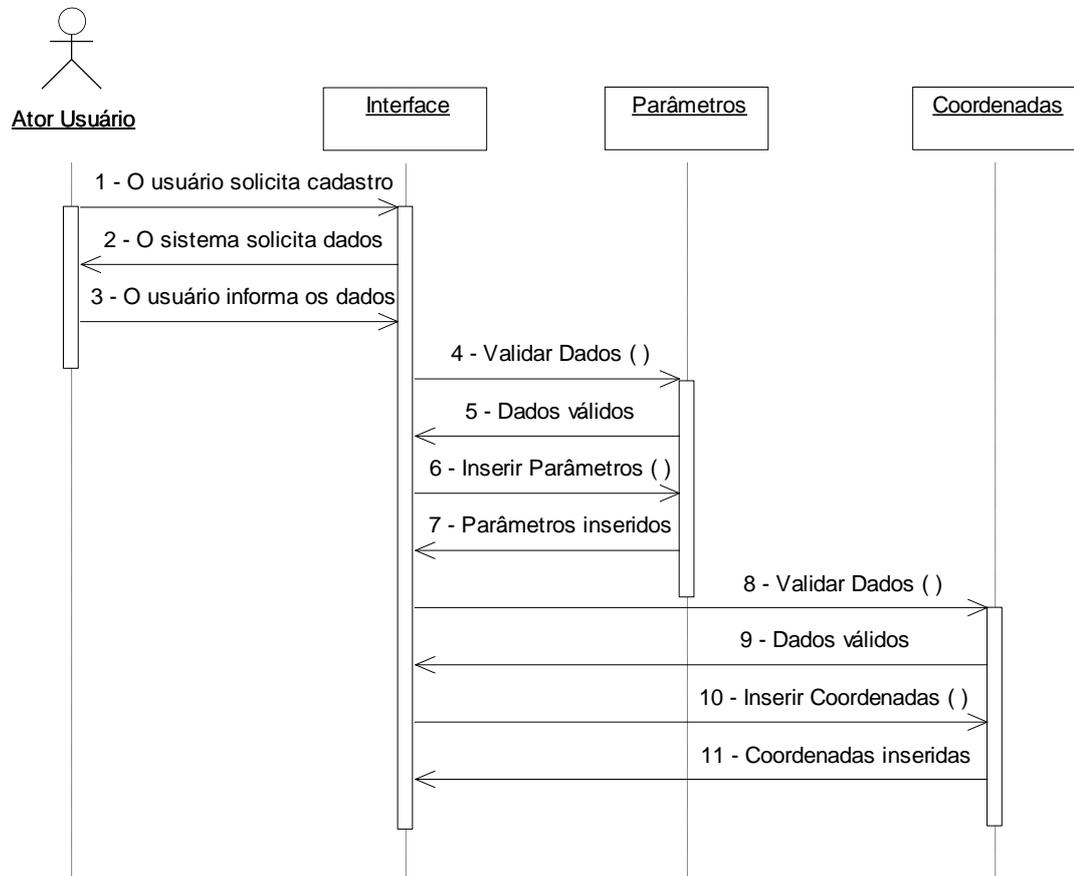
10.10 – Use Case: Manutenir Parâmetros

Curso Normal: Inserir parâmetros da fonte emissora



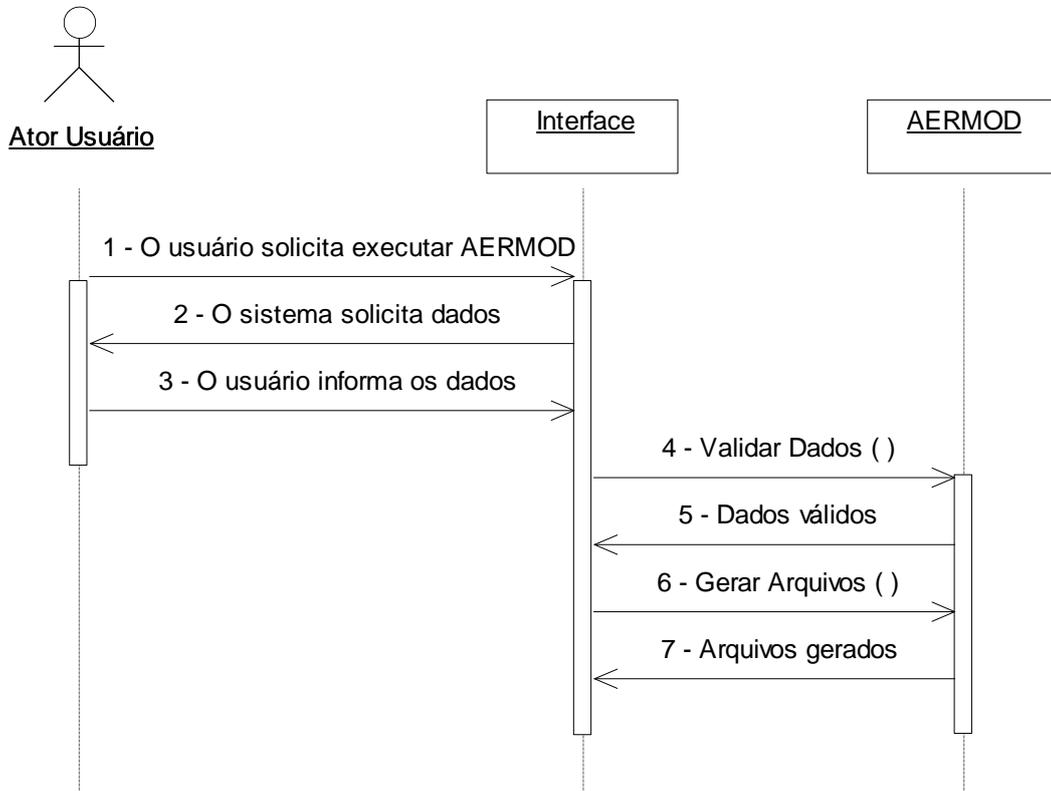
10.11 – Use Case: Manutenir Coordenadas

Curso Alternativo: Extend Use Case para inserir coordenadas dos parâmetros.



10.12 – Use Case: Executar AERMOD

Curso Normal: Executar processador principal AERMOD



11. DESCRIÇÃO FÍSICA DOS DADOS

A Descrição Física dos Dados tem a finalidade de mostrar como os dados estão fisicamente no sistema. Com isso, a descrição física dos dados deste projeto, mostra todas as tabelas do banco de dados contidas no sistema. Mostra os seus atributos, tipos de dados, tamanho desse dado, uma breve descrição do atributo, se o campo é obrigatório ou não e se o campo é uma chave primária ou estrangeira.

11.1 Descrição Física dos Dados do Sistema

CLASSE E TABELA: TIF

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO	Int	5	Código do arquivo	Sim	PK
ARQUIVO	Longblob		Arquivo topográfico	Sim	
DESCRICA0	Varchar	250	Descrição do arquivo	Sim	
EM_USO	Tinyint	1	Arquivo em uso (sim/não)	Sim	

CLASSE E TABELA: AERMAP_FONTES

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO	Int	5	Código do registro	Sim	PK
TIPO	Int	2	Tipo da fonte emissora	Sim	
X	Decimal	13,3	Longitude da fonte	Sim	
Y	Decimal	13,3	Latitude da fonte	Sim	
DESCRICA0	Varchar	100	Descrição da fonte	Sim	

CLASSE E TABELA: AERMAP_DOMINIO_MODELAGEM

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO	Int	5	Código do registro	Sim	PK
GRID_X	Decimal	13,3	Long. inferior esquerda da grade	Sim	
GRID_Y	Decimal	13,3	Lat. inferior esquerda da grade	Sim	
COLUNAS	Int	6	Quantidade de colunas	Sim	
ESPACAMENTO	Int	6	Distância entre colunas	Sim	
DOMINIO_X1	Decimal	13,3	Long. inferior esquerda do domínio	Sim	
DOMINIO_Y1	Decimal	13,3	Lat. inferior esquerda do domínio	Sim	
DOMINIO_X2	Decimal	13,3	Long. superior direita do domínio	Sim	
DOMINIO_Y2	Decimal	13,3	Lat. superior direita do domínio	Sim	
ZONA_UTM	Int	5	Zona UTM	Sim	
ZONA_UTM_LETRA	Char	1	Letra da zona UTM	Sim	
ZONA_GMT	Int	5	Tempo univ. coordenado	Sim	
EM_USO	Tinyint	1	Arquivo em uso (sim/não)	Sim	

CLASSE E TABELA: AERMAP

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO	Int	5	Código do arquivo	Sim	PK
ARQUIVO_INP	Longblob		Arquivo de entrada	Sim	
ARQUIVO_OUT	Longblob		Arquivo de log de execução	Sim	
ARQUIVO_ROU	Longblob		Arquivo de pontos receptores	Sim	
ARQUIVO_SOU	Longblob		Arquivo de altitude das fontes emissoras	Sim	

CLASSE E TABELA: FSL

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO	Int	5	Código do arquivo	Sim	PK
ARQUIVO	Longblob		Arquivo de rádio sondagem	Sim	
DESCRICA0	Varchar	250	Descrição do arquivo	Sim	
EM_USO	Tinyint	1	Arquivo em uso (sim/não)	Sim	

CLASSE E TABELA: SAM

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO	Int	5	Código do arquivo	Sim	PK
ARQUIVO	Longblob		Arquivo meteorológico	Sim	
DESCRICA0	Varchar	250	Descrição do arquivo	Sim	
EM_USO	Tinyint	1	Arquivo em uso (sim/não)	Sim	

CLASSE E TABELA: AERMET

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO	Int	5	Código do registro	Sim	PK
LOCAL	Varchar	37	Local de modelagem	Sim	
ESTADO	Int	2	UF de modelagem	Sim	
PERIODO_INICIAL	Date		Período inicial de modelagem	Sim	
PERIODO_FINAL	Date		Período final de modelagem		
X	Decimal	13,3	Longitude do local	Sim	
Y	Decimal	13,3	Latitude do local	Sim	
ARQUIVO_INP1	Longblob		Arquivo de entrada p/ configurar FSL/SAM		
ARQUIVO_INP2	Longblob		Arquivo de entrada p/ configurar o período	Sim	
ARQUIVO_INP3	Longblob		Arquivo de entrada p/ configurar PFL/SFC	Sim	
ARQUIVO_PFL	Longblob		Arquivo de perfil vertical	Sim	
ARQUIVO_SFC	Longblob		Arquivo de superfície	Sim	
EM_USO	Tinyint	1	Arquivo em uso (sim/não)	Sim	

CLASSE E TABELA: AERMET_CARACTERISTICAS

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO	Int	5	Código do registro	Sim	FK
SEQUENCIA	Int	5	Sequência do registro	Sim	PK
FREQUENCIA	Int	1	Frequência da variação (anual/sazonal/mensal)	Sim	
ESTACAO	Int	1	Estação (primavera / verão / outono / inverno)	Sim	
SETOR_INICIAL	Int	1	Setor inicial em graus	Sim	
SETOR_FINAL	Int	1	Setor final em graus	Sim	
ALBEDO	Decimal	6,2	Variação da incidência de radiação	Sim	
BOWEN	Decimal	6,2	Relação entre o fluxo de calor sensível (H) e o fluxo de calor latente (LE)		
RUGOSIDADE	Decimal	6,2	Altura da camada de atrito para calcular velocidade de fricção	Sim	

CLASSE E TABELA: AERMOD

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO	Int	5	Código do arquivo	Sim	PK
MEDIA_HORARIA	Int	2	Média temporal horária	Sim	
MEDIA_PERIODO	Int	1	Média temporal do período	Sim	
POLUENTE	Int	3	Poluente	Sim	
UNIDADE_MEDICAO	Varchar	100	Unidade de medição	Sim	
VALOR_MAXIMO	Int	3	Valor máximo de saída para tabelas de resumo	Sim	
AERMOD_INP	Longblob		Arquivo de entrada	Sim	
AERMOD_OUT	Longblob		Log de execução	Sim	
ERRORS_OUT	Longblob		Lista com mensagens de erro, dicas ou sugestões	Sim	
EM_USO	Tinyint	1	Arquivo em uso (sim/não)	Sim	

CLASSE E TABELA: AERMOD_RETANGULO

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO	Int	5	Código do registro	Sim	FK
SEQUENCIA	Int	5	Sequência do registro	Sim	PK
VALOR	Int	3	Valor por receptor para opção de saída para tabelas resumo	Sim	

CLASSE E TABELA: AERMOD_SAIDAS

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO	Int	5	Código do registro	Sim	FK
SEQUENCIA	Int	5	Sequência do registro	Sim	PK
TIPO_SAIDA	Int	1	Tipo de saída (maxfile, plotfile, postfile, rankfile)	Sim	
MEDIA_HORARIA	Int	2	Média temporal horária	Sim	
MEDIA_PERIODO	Int	1	Média temporal do período	Sim	
PADRAO_QUALIDADE_AR	Decimal	5,1	Padrão de qualidade do ar	Sim	
CRITERIO_RECEPTOR	Int	1	Critério do receptor (primeiro/segundo)	Sim	
VALOR_MAXIMO	Int	3	Valor máximo de conc. ref. magnitude do impacto	Sim	
DESCRICAO	Varchar	44	Descrição do arquivo	Sim	
ARQUIVO	Longblob		Arquivo de saída PLT	Sim	

CLASSE E TABELA: AERMOD_PONTO

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO_FONTE	Int	5	Código da fonte	Sim	FK
TAXA_EMISSAO	Decimal	7,3	Taxa de emissão	Sim	
ALTURA_CHAMINE	Decimal	7,3	Altura da chaminé	Sim	
TEMPERATURA_SAIDA	Decimal	7,3	Temperatura de saída	Sim	
VELOCIDADE_SAIDA	Decimal	7,3	Velocidade de saída	Sim	
DIAMETRO_CHAMINE	Decimal	7,3	Diâmetro da chaminé	Sim	

CLASSE E TABELA: AERMOD_AREA

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO_FONTE	Int	5	Código da fonte	Sim	FK
TAXA_EMISSAO	Decimal	7,3	Taxa de emissão	Sim	
ALTURA_LANCAMENTO	Decimal	7,3	Altura de lançamento	Sim	
COMPRIMENTO_X	Decimal	7,3	Comprimento do lado X	Sim	
COMPRIMENTO_Y	Decimal	7,3	Comprimento do lado Y	Não	
ANGULO	Decimal	7,3	Ângulo de orientação	Não	
DIMENSAO_VERTICAL	Decimal	7,3	Dimensão vertical	Não	

CLASSE E TABELA: AERMOD_AREAPOLY

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO_FONTE	Int	5	Código da fonte	Sim	FK
TAXA_EMISSAO	Decimal	7,3	Taxa de emissão	Sim	
ALTURA_LANCAMENTO	Decimal	7,3	Altura de liberação	Sim	
NUMERO_VERTICES	Int	2	Número de vértices	Sim	
DIMENSAO_VERTICAL	Decimal	7,3	Dimensão vertical	Não	

CLASSE E TABELA: AERMOD_AREAPOLY_COORDENADAS

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO_FONTE	Int	5	Código da fonte	Sim	FK
SEQUENCIA	Int	5	Sequência do registro	Sim	FK
X	Decimal	13,3	Longitude	Sim	
Y	Decimal	13,3	Latitude	Sim	

CLASSE E TABELA: AERMOD_AREACIRC

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO_FONTE	Int	5	Código da fonte	Sim	FK
TAXA_EMISSAO	Decimal	7,3	Taxa de emissão	Sim	
ALTURA_LANCAMENTO	Decimal	7,3	Altura de liberação	Sim	
RAIO	Decimal	7,3	Raio da área circular	Sim	
NUMERO_VERTICES	Int	2	Número de vértices	Não	
DIMENSAO_VERTICAL	Decimal	7,3	Dimensão vertical	Não	

CLASSE E TABELA: AJUDA

Atributo	Tipo	Tam	Descrição	Obrig	Chave
CODIGO	Int	10	Código do registro	Sim	PK
MENSAGEM	Mediumtext		Mensagem de ajuda	Sim	

12. IMPLANTAÇÃO

O software, código fonte, banco de dados e o guia de instalação estão disponíveis na plataforma *web* www.aermod.infinityfreeapp.com. Profissionais, pesquisadores ou estudantes da área podem utilizar o software para simulações, modelagem de dispersão atmosférica e caso seja necessário, futuras implementações ou melhorias. Para mais informações ou dúvidas entre em contato através do e-mail aermod.infinityfreeapp@gmail.com ou borges2@hotmail.com.

Caso exista alguma atualização de versão, o usuário será notificado pelo software sobre a nova versão permitindo abortar ou concluir o processo de instalação. A atualização também pode ser feita pela plataforma *web* fazendo o *download* do instalador e efetuando sua execução.

REFERÊNCIAS

BOOCH, GRADY. **UML: Guia do usuário**, trad. Fabio Freitas. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2000.

MACHADO, FELIPE NERY RODRIGUES. **Projeto de banco de dados: uma visão prática**. São Paulo: Editora Érica. 2002.